

CINVESTAV

**Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N.
Unidad Guadalajara**



**Modelo bio-inspirado de comunicacion y
soporte para Arquitecturas Cognitivas**

TESIS DE DOCTORADO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

PRESENTADA POR:

Armando Cervantes Hernández

PARA OBTENER EL GRADO DE:

Doctor en Ciencias

CON ESPECIALIDAD EN:

Ingeniería Eléctrica

Guadalajara, Jalisco.

Invierno de 2020

CINVESTAV

**Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N.
Unidad Guadalajara**



**Modelo bio-inspirado de comunicacion y
soporte para Arquitecturas Cognitivas**

TESIS DE DOCTORADO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

**PRESENTADA POR:
Armando Cervantes Hernández**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:
Doctor en Ciencias**

**CON ESPECIALIDAD EN:
Ingeniería Eléctrica**

**DIRECTOR DE TESIS
Dr. Félix Francisco Ramos Corchado**

Guadalajara, Jalisco.

Febrero de 2020

Resumen

Las Arquitecturas Cognitivas o AC es un enfoque que inició hace más de 40 años y actualmente es guía para tratar un gran número de problemas de la inteligencia artificial general; existen muchos tipos de AC, sin embargo, todas están sujetas a respetar la relación temporal de sus datos, para llegar a un comportamiento óptimo, esto es, que la información debe estar en el lugar y momento adecuado para su buen uso. Este requerimiento es conocido como coordinación y sincronización; existen estudios que sugieren que estas propiedades de coordinación y sincronización en el cerebro humano tiene un impacto significativo en el comportamiento de las entidades vivientes. Existen varias teorías y herramientas para su correcta implementación en el área de las ciencias de la computación, sin embargo para desarrollar Arquitecturas Cognitivas bio-inspiradas (ACBI), las propiedades de sincronización y coordinación deben de cumplir con el comportamiento exhibido por la comunicación biológica real, bajo esta restricción las soluciones propuestas dentro del campo de las ciencias de la computación son discutibles ya que no siempre siguen este lineamiento. En este trabajo proponemos un conjunto de modelos basados en propiedades observables de la comunicación desde el punto de vista principalmente de las neurociencias, lo cual nos permite proponer una capa de abstracción que mejora la usabilidad, robustez, interoperabilidad y fidelidad de los modelos propuestos para ACBI, a fin de probar esta propuesta, se realizaron experimentos de cómo esto afecta al comportamiento de los modelos cognitivos.

Adicional al estudio de los modelos de sincronización, se han estudiado las propiedades de soporte a la comunicación del cerebro humano, estas están compuestas por una red de diferentes tipos de células con funciones necesarias para garantizar que el proceso de cognición puede seguir operando de manera eficiente aún en la presencia de algunos problemas por ejemplo, la muerte de alguna o algunas células. Los mecanismos de soporte se categorizaron de acuerdo al objetivo de sus funciones en: optimización, seguridad y administración de recursos. Por cada una de estas funciones se propuso un modelo que simule estas propiedades y se integraron a los modelos ya propuestos de coordinación y sincronización, creando un framework con el cual puede brindar de una manera sencilla, las propiedades anteriormente descritas a las modelos de AC. Finalmente, se utilizaron los conectomas neuronales para evaluar la validez biológica de las estructuras y conexiones que conforman las arquitecturas cognitivas implementadas con nuestro framework.

Abstract

Cognitive architecture is an approach that started more than 40 years ago, and nowadays is a reference framework to tackle a broad range of general artificial intelligence problems; there exist some categories of cognitive architectures, however, all of them must take into account the data temporal relation to work properly, this is, the information must be in the right place at the right moment. This property is also known as synchronization; there exist studies suggesting that the coordination and synchronization properties have a significant impact on the entity's observable behavior. There are theories and tools to solve this problem on the computer science field, however, to develop biologically inspired cognitive architectures, those properties should achieve the same behavior exhibit by the biologic evidence, under those restrictions most of computer science solutions to this problem are debatable. In this work we propose a set of models based on brain observable properties from the neuroscience field; this allows us to propose an abstraction layer improve biologically inspired cognitive architectures model's usability, robustness, interoperability, and fidelity, with the goal of test our proposal validity, we run experiments to measure its impact on existing cognitive models.

Additionally to our research of synchronization models, we study human brain communication support mechanisms, those are achieved by a network of different kind of cells with essential functions to ensure that the cognition process could operate in optimal conditions, even with the existence of anomalies, for example, dead neurons. The support mechanisms are categorized according to their goal: optimization, security and resource management. For each one of those mechanisms we propose a model that ensure those functionalities on our abstraction layer, integrating this to our existing models for synchronization we create a robust framework for developing biologically inspired cognitive architectures. Finally, we neuronal connectomes to evaluate the validity of the structures and connection from the cognitive architectures implemented on our framework.

Agradecimientos

Agradezco a mi abuelo, por ser una inspiración de cómo uno debe afrontar la vida.

Agradezco a mis padres, por apoyarme a cumplir mis objetivos durante todos estos años.

Agradezco a mi familia, por estar siempre conmigo.

Agradezco a Flor, por haber estado todo este tiempo soportando la ansiedad y frustración de la vida de un estudiante de doctorado, por ser un apoyo en esta etapa tan particular de la vida.

Agradezco a mis amigos, por todos esos momentos de diversión que ayudan a tomar fuerza para seguir.

Agradezco a mis compañeros, porque la ciencia es un esfuerzo colaborativo.

Agradezco al Dr. Félix, a la Dr. Karina y al Dr. Juan Pablo por el apoyo y la paciencia mostrada durante todos estos años.

Y finalmente agradezco a CONACyT, porque sin él, esto no hubiera sido posible.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Definición del problema	2
1.2. Justificación	3
1.3. Hipótesis	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
1.5. Metodología Cuayollotl	5
1.6. Estructura del documento	5
2. Arquitecturas cognitivas	7
2.1. Definiciones de arquitecturas cognitivas	7
2.2. Categorías	8
2.2.1. Simbólica	8
2.2.2. Emergente	10
2.2.3. Híbrida	11
2.3. Arquitecturas cognitivas bio-inspiradas	11
3. Frameworks Para Arquitecturas cognitivas	13
3.1. Yet Another Robot Platform	13
3.2. ACONA	15
3.3. OPENCAF	16

ÍNDICE GENERAL

3.4. STORM	17
3.5. LIDA	17
3.6. Comparación del estado del arte	19
3.6.1. Flexibilidad	19
3.6.2. Escalabilidad	19
3.6.3. Sincronización	20
3.6.4. Verificación de conectomas	20
3.6.5. sistemas de soporte bio inspirados	20
3.6.6. Tabla comparativa	20
4. Principios de comunicación en el cerebro humano	21
4.1. Capas de abstracción cerebral	22
4.2. Clasificación funcional de la comunicación del cerebro humano	23
4.3. Componentes Filogenéticos	24
4.3.1. Módulos filogenéticos: Materia Gris	25
4.3.2. Caminos Filogenéticos: Materia Blanca	26
4.4. Desarrollo ontogenético	27
4.5. Asignación de recursos a corto plazo	28
4.6. Sincronización a corto plazo	28
4.7. Mecanismos de soporte: Células Neurogliales	29
4.7.1. Seguridad: Microglia	29
5. Propuesta	33
5.1. Trabajo previo	33
5.2. Meta arquitectura	34
5.2.1. Contexto	34
5.2.2. Objetivos	35
5.2.3. Alcances y limitaciones	35
5.2.4. Funcionalidades	36
5.2.4.1. Definición Filogenetica	36

ÍNDICE GENERAL

5.2.4.2.	Adaptación ontogenética	36
5.2.4.3.	Adaptación a corto plazo	36
5.2.4.4.	Adaptación instantánea	36
5.2.4.5.	Seguridad y Rehabilitación	36
5.3.	Requerimientos, restricciones y características de la arquitectura cognitiva Cuāyōllōtl	37
5.3.1.	Clasificación de Requerimientos	39
5.3.1.1.	Requerimientos Arquitecturales	39
5.3.1.2.	Requerimientos de red	40
5.3.1.3.	Requerimientos de neurociencias	40
5.4.	Comunicación e integración: De requerimientos a modelos	40
5.4.1.	Diagramas de Arquitecturas cognitivas	41
5.4.2.	Sincronización	42
5.4.3.	Sistema de alojamiento de recursos	44
5.4.3.1.	Mecanismos de seguridad	46
5.5.	Resumen del capítulo	48
6.	Arquitectura	49
6.1.	Vista por capas	49
6.2.	Diagramas de componentes	50
6.3.	Protocolos de Despliegue	52
6.3.1.	Proceso de Validación	52
6.3.2.	Proceso de Balanceo	53
6.3.3.	Proceso de Creación de Área	54
6.3.4.	Proceso de creación de Actividad	55
6.4.	Protocolos de enrutamiento	56
6.4.1.	Protocolo de búsqueda de nodo	56
6.5.	Protocolos de monitoreo de y asignación de recursos	57
6.6.	Protocolo de contención y recuperación	57

ÍNDICE GENERAL

7. Resultados	59
7.1. Caso de uso: Modelo motivacional del hambre	59
7.2. Caso de uso: Sistema de recompensa	62
7.3. Caso de uso: Sistema Visual	63
7.4. Conclusiones	64
7.5. Trabajo Futuro	67
Bibliografía	69

Índice de figuras

2.1. Categorías de las arquitecturas cognitivas	9
3.1. Estructura básica de un elemento de YARP	14
3.2. ACONA Framework diagram	15
3.3. Framework diagram	16
3.5. Diagrama de la arquitectura cognitiva LIDA	18
4.1. Scales of abstraction of the brain	22
4.5. Comportamiento de la Astrigkua	28
4.6. Proceso de activación de la microglia	30
4.7. Comportamiento de la Microglia	31
5.2. Diagrama de actividad	41
5.3. Cliques y Gateway	45
5.4. Balanceo de carga	46
5.5. Reenvió de conexiones	47
6.1. Diagrama de Capas	50
6.2. diagrama de componentes del framework cuayollotl.	51
6.3. Balanceo de Cargas.	53
6.4. Creacion de Area.	54
6.5. Creacion de Actividad.	55
6.6. diagrama de componentes del framework cuayollotl.	56

<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	1
7.1. Modelo motivacional del hambre	60
7.3. Modelo del sistema de recompensas	63

Capítulo 1

Introducción

Desde la invención del concepto de inteligencia artificial o IA a principios de la década de los 60's, los investigadores del área han soñado con crear una inteligencia artificial con capacidades similares a las del ser humano o inteligencia artificial general. Sin embargo, después de muchos intentos de alcanzar esta meta, los resultados no fueron significativos [1]. Posteriormente el área de la inteligencia artificial se ha dedicado a crear algoritmos que resuelvan problemas muy específicos [2][3], dejando de lado el objetivo inicial de una inteligencia artificial general.

No obstante, el sueño de la IA de generar una IA general, con capacidades similares a las de la mente humana [4] no ha terminado. Una de los enfoques que actualmente toma este objetivo es conocido como arquitecturas cognitivas (AC), las cuales tienen la ventaja de dividir el ciclo cognitivo en componentes específicos y flujos respectivos de la información, permitiendo analizar el origen del comportamiento complejo de una manera eficiente para después replicarlo computacionalmente [5].

Una vertiente de las AC, está basado principalmente en neurociencia y son conocidas como arquitecturas cognitivas biológicamente inspiradas (ACBI). El cerebro humano es una compleja red de billones de neuronas intercambiando y conmutando impulsos eléctricos, organizados en lóbulos, estructuras y caminos de información [6]. La mayoría de las ACBI funcionan creando módulos que emulan directamente los componentes cerebrales y sus procesos, para entonces integrar modelos que emulen las funciones de estas estructuras y generar un comportamiento complejo. De lo anterior podemos identificar las *estructuras y los caminos de información*, los cuales ofrecen una forma que nos permite el emparejamiento natural al concepto básico de AC es decir componentes (núcleos cerebrales) y flujos de información (redes dedicadas a resolver los requerimientos de comunicación entre núcleos). Esta simple pero poderosa estructura provee un marco teórico para analizar emular comparar y probar resultados de experimentos cognitivos, proveer una realización de recurso útil no solo en el desarrollo de aplicaciones de la IA general, sino también como cama de prueba para que los

neurocientíficos puedan probar sus hipótesis [7].

Un aspecto que en la mayoría de ocasiones se deja de lado en el diseño de modelos en AC o bien se toma en cuenta sólo en la implementación computacional, son: la coordinación, y la sincronización entre las estructuras (protocolos para unificar la información, la frecuencia de las operaciones, la validación de conexiones), sin embargo hay estudios que sugieren que estas características son una funcionalidad crucial para entender el proceso de la cognición [8][9] y dan evidencia para poder implementar un modelo que satisfaga estos requerimientos de manera bio-inspirada.

En este documento presentamos modelos de comunicación entre componentes informáticos que se inspiran en los protocolos de coordinación, sincronización y soporte del cerebro humano, así como un framework bio-inspirado que integra estos modelos para poder aumentar la flexibilidad, robustez y fidelidad de las arquitecturas cognitivas bio-inspiradas y además como un soporte indispensable para los desarrolladores de ACBI que realiza parte de la validación de los modelos cognitivos bio-inspirados montados sobre el framework de comunicación propuesto.

1.1. Definición del problema

El modelado de una ACBI, toma como referencia principal los componentes neuronales que conforman una función cognitiva, tomando en consideración esta evidencia se generan modelos específicos que emulan dichas funciones, con los modelos de las funciones cognitivas interconectados se intenta generar la IA general, sin embargo, esta aproximación tiende a generar una gran cantidad de modelos complejos y heterogéneos que se incrementa con el nivel de granularidad del sistema, además, estos modelos normalmente son generados de manera aislada a pesar de tomar en cuenta toda la evidencia de conexiones de entrada, salida y procesamiento realizado.

De esta manera, el problema surge cuando se quiere integrar modelos que incluyen varios componentes cerebrales que conforman una o varias funciones cognitivas, las cuales requieren que se preserve un el orden específico de la comunicación, la integración de información y la concurrencia de ejecución entre los diferentes modelos integrados, en dado caso de que este requerimiento no se satisfaga adecuadamente podría provocar un funcionamiento incorrecto del sistema; bajo estas condiciones nos enfrentamos a un escenario susceptible a fallas en la secuencia y la temporalidad de los mensajes de comunicación, así como la atribución de datos a elementos con responsabilidades similares, que no están del todo comunicados [10]. Este problema se puede resolver desde dos enfoques, el primero desde los sistemas distribuidos y el segundo utilizando la evidencia biológica. Desde el enfoque de sistemas distribuidos, la solución propuesta puede ser analizada y resuelta de manera eficiente. Sin embargo dejar de lado la evidencia biológica además de romper con un compromiso bio-inspirado nos aleja de

tomar como modelo de diseño el funcionamiento de la mente y se pone en riesgo la posibilidad poder generar funciones emergentes las cuales surgen del funcionamiento concurrente de otras funciones, por tal motivo, el problema que abordamos en esta disertación es el de proponer un sistema de integración, comunicación y sincronización bio-inspirado de las funciones cognitivas que componen una ACBI el cual, además hasta donde nuestra revisión del estado del arte se realizó no está propuesto.

1.2. Justificación

La mayoría de las ACBI que trabajan proponiendo funciones cognitivas como sub-sistemas, realizan la integración de estas mediante conexiones directas entre los componentes de las funciones cognitivas o bien mediante un "framework" de integración, de estos dos enfoques, el segundo es el que se parece más a la forma en que nuestro cerebro funciona, sin embargo, del estado del arte revisado, el diseño de estos frameworks no toma en cuenta la evidencia biológica, es decir son un middleware basado en fundamentos de sistemas distribuido. Esto da como resultado que se tiene en realidad un sistema híbrido, uno en el cual el se consideran únicamente el funcionamiento de la materia gris para constituir las diferentes funciones cognitivas con un fundamento biológico, pero no considera el funcionamiento de la materia blanca la cual realiza las funciones descritas anteriormente involucradas en la comunicación, esta omisión hace que se pierda la esencia de las propuestas auto-denominadas bio-inspiradas. Además de imponer restricciones importantes por ejemplo sobre el manejo de fallas en la sincronización a bajo nivel también conocida como sincronización por oscilaciones cerebrales, las cuales juegan un papel muy importante en la integración de información [11] así como en la interconexión natural entre las diferentes funciones cognitivas, lo mismo pasa con propiedades esenciales como son: la plasticidad, los mecanismos de contención, entre otros eventos que son realizados por un conjunto importante de las células del cerebro normalmente es ignorado durante el modelado de ACBI, y esto es muy importante cuando nuestro objetivo es generar un comportamiento en entidades cibernéticas (programas o avatares) similar al del ser humano.

1.3. Hipótesis

Existe suficiente evidencia neurocientífica que describe los protocolos con que cuenta el cerebro humano para efectuar la sincronización, coordinación y mantenimiento de sí mismo, para que funcionen correctamente los procesos de la mente, esta información puede ser usada para proponer soluciones a estos mismos problemas en las ACBI, a través de la abstracción, modelado e implementación de protocolos de comunicación similares entre los modelos de

funciones cognitivas bio-inspiradas que conforman el proceso de la mente.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar e implementar una plataforma que facilite el desarrollo de ACBIs por medio de modelos de comunicación, coordinación y sincronización y de verificación de interconexión entre los módulos que representan las diferentes funciones cognitivas que conforman el proceso de la mente humana y deben de estar basados en evidencia biológica. La propuesta debe estar conformada como un framework para el despliegue de ACBIs, además deberán asegurar el correcto comportamiento de la ejecución de funciones cognitivas concurrentes para generar un comportamiento de la entidad informática similar al comportamiento humano cuando ambas son sometidas a situaciones similares.

1.4.2. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos enumeran los problemas que deben de ser resueltos para lograr el objetivo general.

- Identificar los componentes del cerebro humano que se encargan de la comunicación entre funciones cognitivas, más específicamente de la coordinación y sincronización de dichas funciones cognitivas.
- Identificar los mecanismos de soporte para el procesamiento de información en el cerebro humano.
- Proponer métodos para validar la veracidad biológica de las conexiones entre las diferentes componentes de una función cognitiva.
- Proponer modelos de coordinación y sincronización entre módulos de funciones cognitivas.
- Integrar estos modelos de comunicación en un framework para generar ACBI.
- Probar los resultados del framework a través de algunos casos de estudio.

1.5. Metodologia Cuayollotl

Al ser parte del equipo de desarrollo de la arquitectura cognitiva cuayollotl, nos apegamos a la metodología de desarrollo de la misma descrita en la tesis de Torres [12]. Esta metodología ha evolucionado, sin embargo, sus pasos principales siguen constantes al dividir el proceso de desarrollo de una arquitectura cognitiva para una función cognitiva en 5 pasos fundamentales:

1. Especificación de Meta-Arquitecturas: En este paso se delimitan el contexto, los objetivos alcances y limitaciones a los que estará sujeta la arquitectura cognitiva, patrones y estilos arquitectónicos que impactan el desarrollo, pruebas de validez neurocientífica que avalen la viabilidad de la arquitectura y creación de casos de estudio para la demostración de su eficacia.
2. Arquitecturas de sub-funcionalidades: Se especifica cuales son las diferentes agrupaciones de tareas que el sistema debe de realizar y cuales son los objetivos de cada una.
3. Validación de arquitecturas de sub-funcionalidades: Se procede a realizar pruebas de credibilidad y de validez neurocientífica.
4. Integración de sub-funcionalidades o funcionalidades: En este punto se realiza la integración de múltiples funcionalidades, con el fin de que cada una pueda aportar a la arquitectura cognitiva general, es necesario realizar nuevamente las pruebas de validez neurocientífica en el proceso de integración.
5. Intersecciones de funcionalidades: En ocasiones la integración de funcionalidades da como resultado que una o más de las funcionalidades comparten sub-funcionalidades o bien son dependientes de procesos adicionales, en este paso se abordan las estrategias para solventar estas situaciones.

1.6. Estructura del documento

Al ser este un trabajo multidisciplinario, nuestro marco de trabajo está dividido en las áreas de arquitecturas cognitivas y neurociencias. Primero presentamos lo que es una AC y porque son relevantes. Los tipos de AC que existen, sus ventajas y desventajas.

Abordamos cuáles son los principales frameworks para la implementación de arquitecturas cognitivas y deficiencias que queremos solventar con la realización de este trabajo.

Posteriormente hacemos un análisis profundo de los mecanismos y principios neuronales involucrados con los procesos de coordinación, sincronización y soporte que se desean simular para asegurar que nuestra propuesta aporte funcionalidades para la correcta implementación

de ACBIs. Siguiendo con la implementación de la metodología cuayollotl, se procederá a presentar la meta arquitectura de nuestra propuesta, seguido de los requerimientos y protocolos necesarios para su realización.

Capítulo 2

Arquitecturas cognitivas

Las arquitecturas cognitivas o ACs son programas creados por investigadores en ciencias de la computación en específico por investigadores de Inteligencia Artificial para replicar procesos de la mente. Algunos neurocientíficos las utilizan para analizar procesos de la cognición. Existen diferentes enfoques para conceptualizar una AC, por ejemplo psicología, neurociencias, filosofía, o una mezcla de varias. A pesar de que no es una área nueva sino que ya existe evidencia de investigación en esta área de más de 40 años, actualmente no hay una definición globalmente aceptada de lo que es una arquitectura cognitiva. Sin embargo, si hay definiciones simples de propuestas interesantes. A continuación transcribimos algunas que consideramos de las más descriptivas.

2.1. Definiciones de arquitecturas cognitivas

- Una arquitectura cognitiva es el conjunto fijo de estructuras involucradas en la adquisición y el uso del conocimiento [13].
- Una arquitectura cognitiva es un sistema multiagentes que cuentan con memorias a corto y largo plazo, estructuras para la organización y representación de dichas memorias y procesos que manipulen dichas memorias para permitir la ejecución y aprendizaje de tareas [14].
- Una arquitectura cognitiva es una estructura teórica y un conjunto de mecanismos para realizar cognición humana, con el que se construyen modelos para tareas específicas. [15]

Cómo se puede observar, las definiciones anteriores contienen diferentes elementos por lo que decidimos proponer nuestra propia definición de la manera siguiente:

Definición: Una arquitectura cognitiva es un conjunto constante de mecanismos e infraestructura involucrados en los procesos asociados a la mente. Estos procesos son normalmente conocidos como procesos cognitivos.

Como se mencionó anteriormente, el diseño de una AC puede basarse en evidencia de una o diferentes áreas como son: psicología, computación, neurociencias, etc. [16]. En particular, en el caso de las AC bio-inpiradas los investigadores proponen el conjunto de estructuras y mecanismos basándose en evidencia biológica (neurociencias, fisiología, psicología). Ahora bien, el principal uso de una AC es generar sistemas cibernéticos que se comporten de manera similar a la del ser humano cuando éste enfrenta situaciones parecidas. Es decir, el área de las ACs es un enfoque para abordar la problemática de la Inteligencia Artificial General.

Las aplicaciones de las arquitecturas cognitivas son inmensas, desde probar hipótesis del funcionamiento de áreas cerebrales, la replicación de experimentos neuronales, simulaciones de diferentes tipos, composición de servicios, robótica, entre muchas otras [17].

2.2. Categorías

Dentro del área de sistemas cognitivos, se han realizado varios intentos para alcanzar una base común para representar los procesos del pensamiento. Sin embargo, debido a que se han creado AC con diferentes criterios y enfoques esto ha dado origen a varias taxonomías para AC.

De acuerdo a Duch[18], toda AC tiene tres tipos de componentes principales : Memoria a corto y largo plazo, una representación de elementos en memoria y procesos que trabajan con esa estructura de memoria. Basados en estas características podemos crear categorías para las AC. Cada categoría tiene sus ventajas sobre las otras y hasta hoy no existe una categoría ganadora, sino que, dependiendo en el tipo de problema que tenemos que atacar, es necesario decantarnos por una u otra. Aunque existen algunas subdivisiones, las tres categorías principales son: simbólica, emergente e híbrida.

2.2.1. Simbólica

Los investigadores de la aproximación simbólica, afirman que la cognición es un tipo de computación, y que las entradas del cerebro pueden ser catalogadas como símbolos que representan el mundo físico. Es decir que el cerebro guarda el conocimiento como símbolos de un lenguaje lógico [19]. También sostienen que el comportamiento es una consecuencia del cerebro almacenando, alterando y recuperando estos símbolos [20]. El proceso de aprendizaje depende de la creación, actualización y eliminación de los símbolos y reglas almacenados en la memoria. Los primeros sistemas que capaces de realizar procesos de cognición, lo realizaron

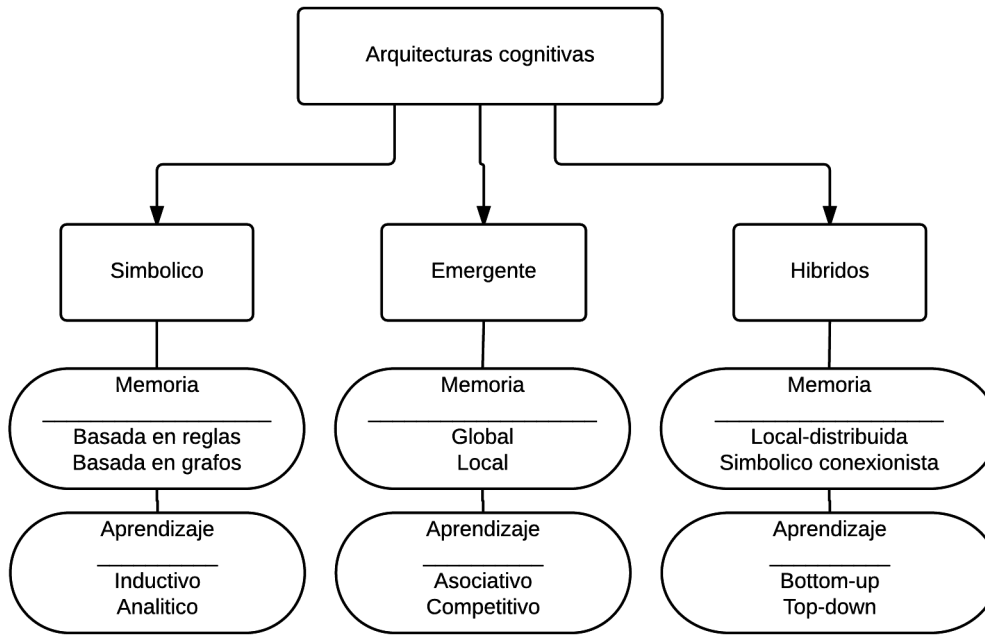


Figura 2.1: Categorías de las arquitecturas cognitivas - basada en el diagrama de DUCH [18].

mediante el uso de sistemas simbólicos [21].

Generalmente los tipos de arquitectura cognitiva simbólica presentan la información como un grafo dirigido, con los nodos como las entidades y sus atributos y las aristas representando la relación entre ellos [18]. Algunos ejemplos de este tipo de representación de información son las redes semánticas y los grafos conceptuales [22].

Este tipo de ACBI, así como los propios lenguajes de primer orden, tienen la ventaja de poder procesar la información, de una manera libre de ambigüedades. La información almacenada como símbolos puede ser interpretada por un lector humano y las reglas de inferencia son claras, y el marco de trabajo robusto y bien definido, basado en lógica matemática. Para muchos expertos multidisciplinares este es el enfoque correcto.

Sin embargo el hecho de que estén basadas en lógicas, también implica que hereda todas las limitaciones de esta área a la AC. Por ejemplo: bajo grado de flexibilidad y alta complejidad computacional, haciendo ya sea muy difícil de abstraer toda la información del ambiente a símbolos o creando conjuntos de símbolos muy complejos para poder dar una respuesta en un tiempo apropiado. Aun utilizando lógicas de orden superior, existe un punto donde el sistema alcanza su límite y no puede tratar la complejidad del sistema resultante. Además, la mayoría de estas AC procesan la información en una infraestructura altamente centrali-

zada, principalmente debido al uso de motores de inferencia, haciendo el sistema altamente propenso a generar cuellos de botella.

2.2.2. Emergente

Un sistema emergente se adapta al ambiente, mediante la inclusión de mecanismos de auto-organización para responder a las características del ambiente y mantenerse operativos. Este tipo de sistema se reconstruye a sí mismo a través de su interacción con el ambiente y co-determinación. La co-determinación es la habilidad de un agente de ser modificado por el ambiente y al mismo tiempo determinar qué información es valiosa para el agente [20].

Los sistemas emergentes están basados principalmente en las ideas y modelos conectivistas [23]. Esto significa que sus elementos de procesamiento crean redes interconectadas en patrones muy específicos y cambian sus estados dinámicamente para generar comportamiento emergente.

Debido a la naturaleza de este paradigma, es fácil implementar técnicas de análisis con un alto grado de paralelización, y la memoria puede ser global o local. Las AC emergentes pueden utilizar un amplio rango de técnicas de aprendizaje [23]. Sin embargo, hay dos tendencias principales dentro del área para el aprendizaje que son el aprendizaje asociativo y el aprendizaje competitivo.

- Aprendizaje asociativo: Crea relaciones específicas entre señales de entradas. Utiliza técnicas como reconocimiento de patrones, tiene la principal desventaja de que este tipo enfoque es que tenemos que tener grandes conjuntos de datos de entrenamiento para poder crear nuestros grupos de similaridad.
- Aprendizaje competitivo: En este paradigma de aprendizaje, cada elemento de procesamiento compite para ser activado cuando una señal es recibida. Ejemplo: Tenemos un conjunto de elementos de procesamiento, entonces el miembro con la calificación más alta es seleccionado para ser entrenado sobre esta entrada.

Ambos enfoques son muy útiles para identificar y procesar información simple pero ambigua, proporcionando un marco de trabajo muy adecuado cuando se trabaja con señales de entrada o matrices, sin embargo es muy ineficiente cuando se trabaja con información con un alto nivel de abstracción.

En la actualidad aún no se ha podido crear cognición de alto nivel *utilizando únicamente* el paradigma emergente [24].

2.2.3. Híbrida

Los enfoques previamente mencionados tienen sus ventajas y desventajas, a fin de proponer una categoría que combine las ventajas de ambas propuestas se propone una clase híbrida [25].

Sin embargo, no existe un consenso en que características son mejores. En general esta decisión depende de las características tanto de nuestro objetivo como de su contexto. Por ejemplo, en algunos proyectos es preferible contar con información no ambigua, mientras que en otros es preferible tener fragmentos de memoria distribuida, etc. Existen dos corrientes principales:

- Local-distribuida.- Este se enfoca en la creación de redes de nodos que comparten información entre ellos, pero el proceso de aprendizaje, se ejecuta de manera independiente dentro de cada red. [18].
- Simbólico-Coneccionista.- Está relacionado a los mecanismos de almacenamiento en memoria. Algunos componentes de la arquitectura utilizan símbolos para interactuar con memoria mientras que otros componentes utilizan la aproximación coneccionista además existen módulos que median entre ambos.

Algunas de las AC más exitosas utilizan esta aproximación para crear un motor de inferencia robusto y que al mismo tiempo cuente con mecanismos para tratar la ambigüedad [26]

2.3. Arquitecturas cognitivas bio-inspiradas

Una arquitectura cognitiva biológicamente inspirada (ACBI), es una AC cuyos principios de modelado se basan en componentes neuronales. Las ACBI pueden ser tanto simbólicas [27], como emergentes [28], ya que su representación de memoria es indiferente al flujo de datos que estas representaciones sufren dentro del sistema.

Capítulo 3

Frameworks Para Arquitecturas cognitivas

Un framework es un conjunto de mecanismos y librerías que facilitan el desarrollo de software, estos indican el flujo de trabajo y de comunicaciones que el proyecto debe acatar. Estos pueden dividirse en muchos tipos de características, las más relevantes para este trabajo son los principios de comunicación. En este capítulo realizaremos un análisis de los principios de comunicación exhibidos por los frameworks para AC más relevantes.

Existen algunos proyectos que tienen el objetivo de desarrollar un framework general para la implementación de arquitecturas cognitivas. Algunos de estos frameworks se centran en aspectos específicos como la modularidad, alto desempeño, inspiración biológica entre otros. A continuación presentamos un análisis de algunas de estas propuestas del estado del arte. De ninguna manera la revisión es exhaustiva, los trabajos revisados fueron seleccionados con base en su orientación y también porque son los que nos permiten hacer una comparación más justa con la propuesta de esta investigación.

3.1. Yet Another Robot Platform

Yet Another Robot Platform (YARP) [29] es un middleware desarrollado con el propósito de facilitar a los investigadores la implementación de sus algoritmos para robots en tiempo real, sin preocuparse por cuestiones de infraestructura. La arquitectura cognitiva iCub[30], usa YARP para su implementación. YARP corre sobre un cluster de computadoras conectadas a través de la red y distribuye el trabajo sobre ellas. En este cluster, el código debe ser dividido en módulos, para poder proveer una mejor capacidad de reutilización y mantenimiento. Estos módulos tienen la propiedad de ser independientes de locación y de comportamiento entre ellos (la ejecución de un módulo no interfiere con los demás).

YARP trabaja con el patrón Observador [31], la base del patrón observador es un conjunto de objetos puertos(OP). Un OP se encarga de enviar y recibir los mensajes de cada módulo. Un OP observa un conjunto de OP que representan sus entradas. De la misma manera un OP a su vez puede tener un comportamiento de salida, es decir ser visto por otro conjunto de OP como una de sus salidas 3.1.

Este enfoque permite a YARP establecer una comunicación entre sus módulos sin que el código del usuario, tenga que encargarse del direccionamiento, replicación o priorizar las N entradas y salidas de cada módulo.

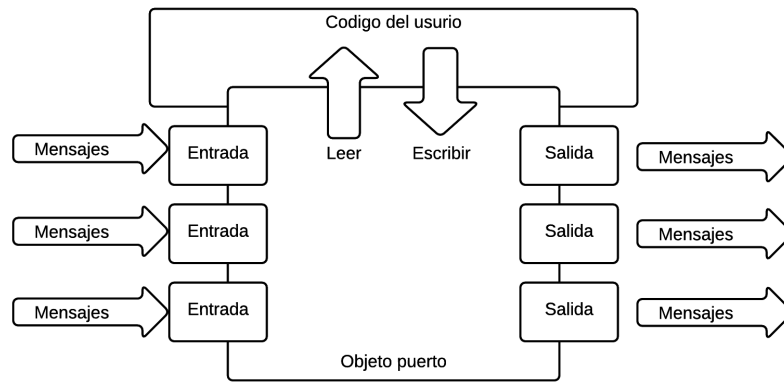


Figura 3.1: Estructura básica de un elemento de YARP - basada en el diagrama de [32]

Sin embargo YARP está diseñado para aplicaciones de robótica y su objetivo principal es el proveer poder de procesamiento para algoritmos de reconocimiento y de visión. Los procesos de descubrimiento de módulos en YARP, son controlados por un servidor denominado "Name server" [32] en el cual tiene que ser ingresado manualmente la información referente al módulo. Por otro lado, el middleware está ligado a una entidad centralizada por lo que representa un cuello de botella para el sistema. El enfoque minimalista de YARP, le permite exhibir un alto grado de flexibilidad, pero al mismo tiempo limita el apoyo y funcionalidades que el sistema brinda, se carecen de cuestiones como inversión de flujo, lo cual dificulta la distribución y administración de tareas, dejando a YARP como un middleware de comunicación y no un framework para AC bio-inspiradas que deseamos. Las influencias biológicas dentro de la arquitectura de YARP son nulas ya que su principal función es la de funcionar como un middleware de comunicación de uso general para robótica.

3.2. ACONA

El framework ACONA tiene como objetivo la creación de arquitecturas cognitivas [33], su uso segmenta los componentes de un sistema en los 3 tipos de módulos siguientes:

- Módulo de Memoria: Compuesto de cualquier base o estructura de datos utilizada para almacenar información. Juntos, estos representan el estado actual del sistema. Una arquitectura cognitiva puede usar varios módulos de memoria a corto plazo para representar diferentes partes del sistema, como ACT-R o usar una sola memoria de trabajo como SOAR.
- Módulo de servicio: Son funciones del sistema que no tienen una jerarquía. Son operaciones que alteran los datos contenidos en los módulos de memoria. Una característica interesante es que los componentes de conocimiento procedural son implementados también como servicios. Y finalmente,
- Módulos de procesos: Un proceso es el que se encarga de administrar y ejecutar uno o varios servicios.

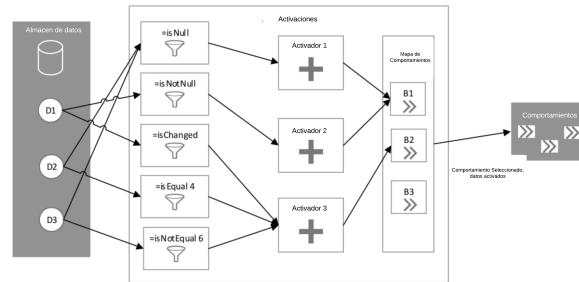


Figura 3.2: ACONA Framework diagram

Este "framework" tiene la ventaja de que la lógica de negocios está completamente separada de la funcionalidad del sistema, estructuras de datos y comunicación, permitiendo implementar de manera ordenada y clara la funcionalidad específica de cada uno de estos.

ACONA presenta un trabajo muy completo para la representación de diferentes tipos de módulos y sus respectivos comportamientos. Ofrece flexibilidad para las diferentes demandas y situaciones a las cuales la implementación de una AC se puede enfrentar. Sin embargo el proceso de integración es manejado por el usuario y la sincronización sigue el patrón observador, como es el caso del middleware YARP descrito previamente. Además, dado que se basa en el framework JADE [34], primero no tiene bases biológicas por lo cual no es apropiado

para desarrollar arquitecturas cognitivas bioinspiradas y segundo, hereda sus limitaciones, por ejemplo la existencia de un solo contenedor principal, el cual maneja el control de todo el sistema y que el usuario tiene que encargarse de la distribución de sus módulos.

3.3. OPENCAF

Open Cognitive Architecture Framework (OpenCAF)[35] es un componente de Open Unified Technical Framework, que comprende un conjunto de herramientas que tienen el objetivo de ser capaces de representar comportamiento inteligente complejo para una amplia variedad de aplicaciones, y al mismo tiempo brindar alto desempeño, escalabilidad, distribución y paralelismo de la infraestructura, para soportar tanto sistemas orientados a servicios en tiempo real como aplicaciones de modelado y simulación. Los componentes principales de OpenCAF son: Entidades, Comportamiento, Objetivos, Pensamientos, Estados, y Tareas. Todos estos componentes se coordinan en un flujo cognitivo el cual se pueden generar de comportamientos altamente complejos

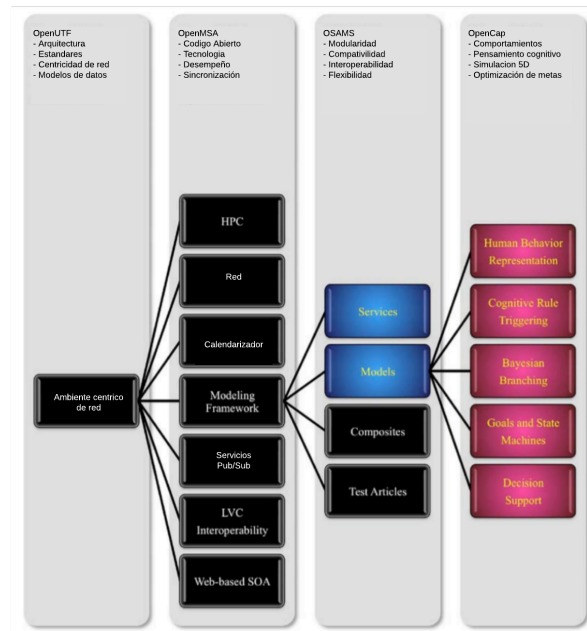


Figura 3.3: Framework diagram

En resumen, el framework openCAF es parte de la suite de software openUTF, cuyo objetivo es apoyar el diseño de arquitecturas de software, optimizado para simulación de modelos. Cuenta con muchas opciones para integrar diferentes protocolos y servicios, es un framework

robusto y flexible, sin embargo esta herramienta no está diseñada para arquitecturas cognitivas bio-inspiradas, y sus protocolos de comunicación no toman en cuenta los requerimientos de la sincronización en el comportamiento de la entidad.

3.4. STORM

STORM es otro framework para arquitecturas cognitivas, su objetivo es hacer fácil y rápido el desarrollo y experimentación con componentes de arquitecturas [36]. Los componentes pueden dividirse en dos tipos de componentes: Módulos de función y variables de estado

Los módulos de función realizan procesamiento mientras las variables de estado mantienen estructuras persistentes y proveen comunicación entre módulos de función. Cada módulo de la arquitectura se ejecuta de manera asíncrona, permitiendo establecer de manera independiente los tiempos de ejecución de cada módulo. Sin embargo, la coordinación y la comunicación de estos módulos depende del desarrollador, el framework únicamente provee los métodos para especificar la agenda de ejecución. A pesar de que esta aproximación es abstracta y simple, permite a STORM conseguir un alto grado de flexibilidad.

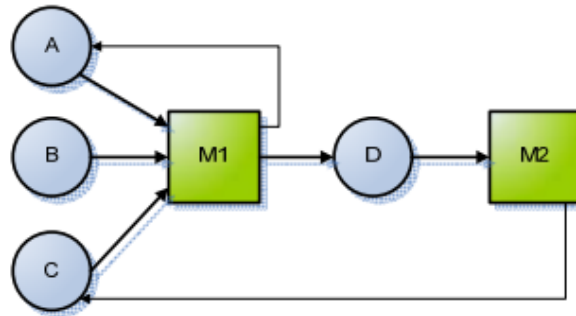


Figura 3.4: Diagrama del Framework STORM

Storm ha sido diseñado para poder desempeñar un alto grado de flexibilidad y escalabilidad además cuenta con mecanismos de coordinación de mensajes entre módulos, sin embargo estos mecanismos carecen de evidencia biológica lo cual hace insuficiente para nuestros objetivos en el diseño de arquitecturas cognitivas bioinspiradas.

3.5. LIDA

LIDA es un framework muy robusto que se creó con el objetivo de convertirse en la infraestructura estándar para los sistemas de inteligencia artificial general [37][38]. LIDA

declara un ciclo cognitivo integral, cada proceso que quiera integrarse a LIDA debe de estar acotado a este ciclo. LIDA es clasificado como un framework para arquitecturas cognitivas híbridas debido a su representación de memoria que es parcialmente simbólica y parcialmente conexionista [24]. Las diferentes áreas ligadas al ciclo cognitivo de LIDA están relacionadas con estructuras como percepción, memoria episódica, memoria procedural, OCP y selección de acciones.

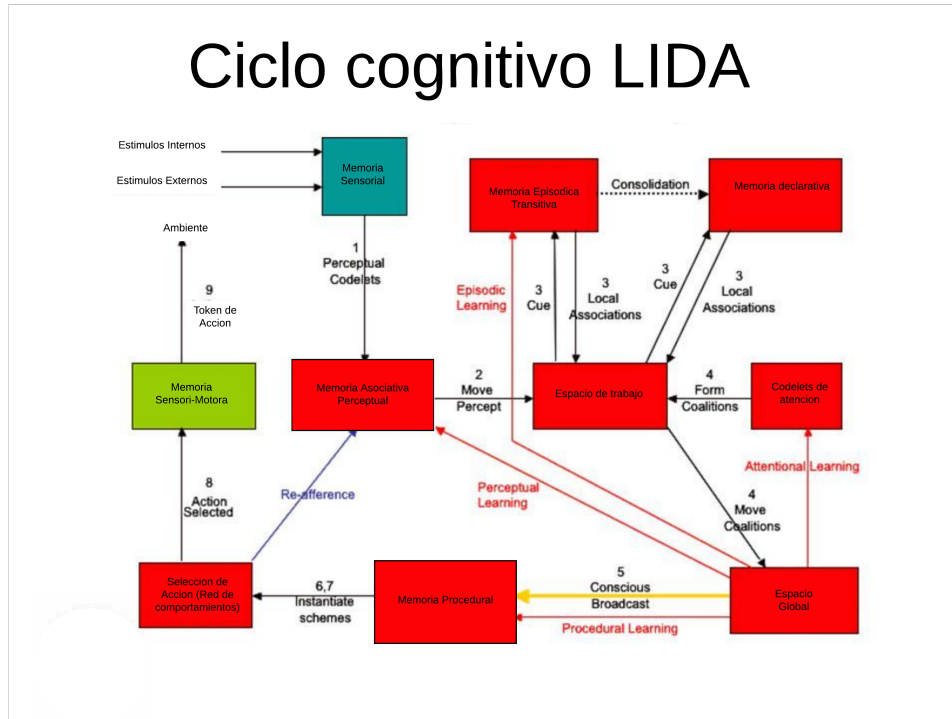


Figura 3.5: Arquitectura general de LIDA [39]

El primer paso es percepción, los estímulos sensoriales, son recibidos e interpretados como preceptos. Posteriormente los preceptos son transformados y almacenados como pequeñas piezas de código llamadas *Codelets* en el buffer de preconciencia. En la preconciencia es enriquecida con información de la Memoria episódica transitoria y la memoria declarativa para posteriormente ser almacenadas en la memoria de trabajo a largo plazo. Los codelets en memoria a largo plazo forman coaliciones y compiten para llevar eventos relevantes, urgentes o inconscientes a la conciencia. Una coalición gana la competición y su contenido es propagado a través del espacio de trabajo global, con el fin de influir con la toma de decisiones del sistema. Estos son los esquemas relevantes para responder la propagación de memoria, estos son típicamente esquemas que comparten información con el contexto de la emisión de memoria. La red de comportamientos elige un comportamiento (esquema, contexto de objetivo) o un

flujo de comportamientos. La ejecución de un comportamiento resulta en la ejecución de codeles de comportamiento, los cuales realizan tareas específicas, teniendo consecuencias internas, externas, o ambas.

Todos estos pasos definen el flujo cognitivo de LIDA, y proveen un framework limpio y organizado para Inteligencia artificial general, reservando espacio para los diferentes tipos de componentes. Sin embargo, este detallado ciclo cognitivo a su vez restringe a que todos los modelos deseen utilizar LIDA deben diseñarse basados en este ciclo, convirtiéndose en una opción muy restrictiva, forzando a cualquier arquitectura cognitiva que trabaje con este framework. Si bien los conceptos de codelets y su propagación son bio-inpirados, los mecanismos de transmisión de los mismos carecen de sustento.

3.6. Comparación del estado del arte

Aunque existe una buena cantidad de propuestas en el estado del arte, ninguna de ellas cumple con todas las características necesarias para el desarrollo de arquitecturas cognitivas bio-inpiradas que describimos a continuación:

3.6.1. Flexibilidad

Nuestro objetivo es que nuestro sistema tenga la capacidad para automáticamente detectar y comunicar los diferentes modelos cognitivos asociados a la arquitectura cognitiva. Esta procese de comunicación tiene que ser independiente de su distribución física en el conjunto de equipos que conforman el cluster de procesamiento para la arquitectura.

3.6.2. Escalabilidad

Una de las particularidad de las arquitecturas cognitivas bio inspiradas, es que generalmente tienden a estar compuesta por una gran cantidad de módulos, es importante que el sistema esté preparado para afrontar una demanda de recursos elevados al integrar múltiples funcionalidades.

Nos interesa que la arquitectura pueda ser incremental, es decir que el crecimiento del número de modelos cognitivos y la carga de trabajo de cada uno de ellos pueda ser soportada por el framework. Permitiendo agregar y expandir el comportamiento y las capacidades de una arquitectura cognitiva, facilitar el desarrollo de la arquitectura y no preocuparse demasiado por la optimización de cada modelo.

3.6.3. Sincronización

Existe evidencia biológica que permite diseñar mecanismos de comunicación y de sincronización bio-inspirados. Además de mostrar la relevancia de su correcta abstracción. Se cree que estos mecanismos pueden reflejarse en el comportamiento observable de una AC.

3.6.4. Verificación de conectomas

Los componentes y conexiones del cerebro de cada especie, tienen un mapa de conectividad predefinido, se requiere utilizar este mapa para la validar las conexiones y optimizar los flujos de información.

3.6.5. sistemas de soporte bio inspirados

Como se ha encontrado en la literatura, el cerebro cuenta con mecanismos auxiliares, los cuales brindan funciones de soporte para que los elementos de procesamiento puedan seguir desempeñando su función de manera eficiente.

3.6.6. Tabla comparativa

A continuación, procedemos a mostrar una tabla resumida calificando los criterios esenciales para satisfacer nuestros objetivos.

	YARP	LIDA	SOTRM	OPENCAF	ACONA
Arquitectura escalable	O		O	O	O
Auto Integración de múltiples modelos	O	O			O
Sincronización basada en neurociencia		*			
Organización basada en conectomas					
Sistemas de soporte bio-inspirados.					

Capítulo 4

Principios de comunicación en el cerebro humano

En este capítulo presentamos un análisis del estado del arte de la investigación en el campo de las neurociencias, especialmente los avances en entendimiento de la comunicación y sincronización, usando las teorías presentadas en los siguientes trabajos [40], [41] y [42]. Este análisis nos sirve para dividir y clasificar los diferentes mecanismos que el cerebro humano emplea para producir un comportamiento adecuado a la situación que se le presenta.

El cerebro humano es una red compuesta por diferentes tipos de células, cada tipo de célula tiene una función bien definida: procesamiento de información, mejoras en la comunicación, seguridad, mantenimiento, etc.

El rol de cada una de las células en la red, es esencial para la correcta operación del sistema nervioso.

Esta red está compuesta de cientos de miles de neuronas, que reciben estímulos (impulsos eléctricos generados por reacciones químicas) de los receptores localizados a través del cuerpo humano.

Las neuronas están agrupadas en núcleos y áreas, cada una con una función específica, todos los elementos están interconectados a través de complejos caminos de información, creando redes de comunicación. En este capítulo analizaremos estos elementos y determinaremos cuales son relevantes para nuestra investigación.

4.1. Capas de abstracción cerebral

El comportamiento humano puede ser descrito mediante capas. En [43] se describe este funcionamiento por medio de cuatro capas, en la cuarta capa el cerebro es visto como una caja negra que toma como entrada las señales captadas por el sistema sensorial de los sentidos y genera una salida, en esta capa de abstracción, los detalles acerca del funcionamiento del sistema son básicas.

En la siguiente capa de abstracción la caja negra se descompone en las partes específicas del cerebro que se encargan de funciones cognitivas específicas (por ejemplo memoria, atención). Para realizar este nivel de abstracción, es necesario determinar el orden en el flujo de la información, y realizar inferencias acerca de que es lo que está sucediendo en cada función cognitiva, sin embargo somos incapaces de determinar la estructura interna de cada función cognitiva y por lo tanto no podemos establecer un conjunto de características robustas para establecer una correcta implementación de una red cognitiva bio-inspirada.

En la capa inferior podemos encontrar los mapas de áreas, las cuales son redes que se encuentran dentro de la capa de sistemas, estas redes deben de realizar las tareas específicas (por ejemplo: procesamiento de imágenes, acceso a memoria), estos mapas de áreas son los principales temas de investigación en el área de las ACBI's. Las redes a este nivel son recreadas proponiendo un componente el cual se basa en evidencia biológica de entradas que recibe, procesamiento que realiza y salidas que entrega. La validación se realiza mediante varias pruebas y por lo descrito en la metodología de nuestro grupo [12].

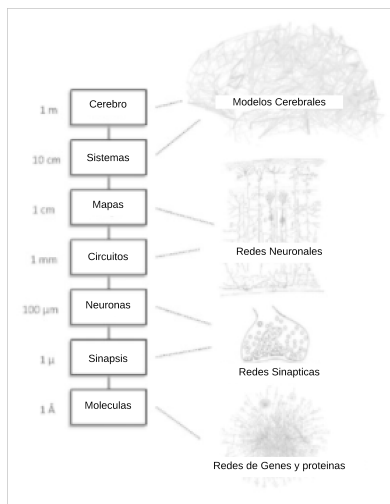


Figura 4.1: Escalas de abstracción del cerebro humano[43].

En la Figura 4.1 se describen estas capas a dos niveles de abstracción. El lado derecho

muestra los cuatro niveles que acabamos de describir, mientras que el lado Izquierdo muestra los espacios de trabajo estimados en cada capa. En el espacio de trabajo nombrado circuitos, se estudian los diferentes grupos de redes neuronales trabajando entre si. a que Los componentes que se encuentran en las capas inferiores son muy pequeños y sus tareas trabajan directamente con impulsos eléctricos provocados por reacciones químicas. Estos incluyen la estructura de cada neurona y cómo las diferentes proteínas afectan la conductividad eléctrica de las células.

Churchland [43] hace énfasis en que es necesaria la comprensión de todas las capas para llegar verdaderamente a un entendimiento de la cognición humana. Park [44] afirma que la interacción entre los diferentes niveles es clave para la emergencia del comportamiento. En la figura 4.1, podemos ver la jerarquía de esta teoría y los espacios de trabajo estimados en cada capa. En esta tesis nos enfocaremos en cómo la comunicación de los circuitos, afecta el comportamiento de las capas superiores y los mecanismos que la controlan.

4.2. Clasificación funcional de la comunicación del cerebro humano

Dentro de nuestra revisión del estado del arte, encontramos la propuesta de Bressler [41], en la cual se clasifica las diferentes propiedades que una red neurocognitiva debe exhibir para asegurar un correcto comportamiento. Este divide las diferentes estructuras y mecanismos de comunicación en base a su funcionalidad en el cerebro humano.

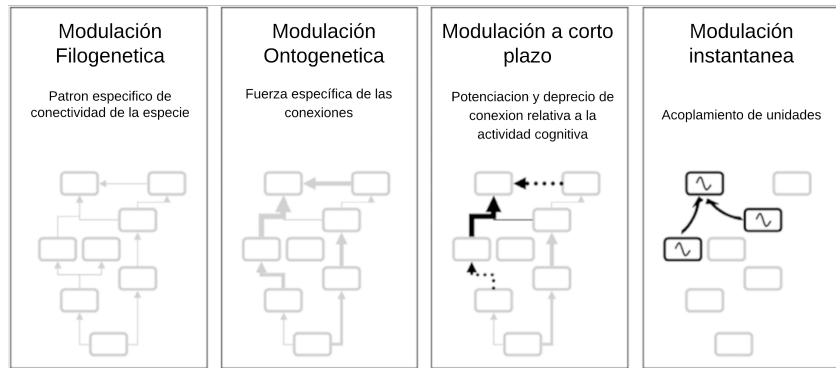


Figura 4.2: [41].

Primero se presenta el hecho de que una determinada especie tiene una conjunto definido de áreas y conexiones, esta propiedad en biología es conocida como *filogenia*, en redes neurocognitivas esto hace referencia al conjunto predefinido de módulos y canales de comuni-

cación, creando una estructura anatómica constante. En la teoría de las capas de abstracción del cerebro de [40] está conforma una vista de sistema cerebral.

La segunda propiedad es la *ontogenia*, la cual hace referencia a la propiedad del cerebro para fortalecer conexiones basadas en el uso del canal, esto permite a los seres vivos mejorar en determinadas áreas de la cognición, en las redes neurocognitivas, las propiedades de conectividad de determinados canales mejoran con el tiempo y la experiencias [45]. Las dos propiedades anteriores son una guía que permite validar las conexiones a diferentes niveles de abstracción. Esto es nos permite validar las conexiones basándonos en evidencia neurocientífica a nivel funciones cognitivas también a nivel de componentes de funciones cognitivas. Es claro que existen muchos huecos los cuales no han sido resueltos por la evidencia neurocientífica, sin embargo en el presente trabajo se propone que se sigan estas dos propiedades para realizar la validación de los modelos propuestos a este nivel.

Otro principio es la modulación a corto plazo, este afirma que un determinado canal tiene una alta prioridad cuando tiene mucho uso, este es un mecanismo dependiente del tipo de tareas, del uso específico de una región cerebral para llevar a cabo una tarea e.g. recordar o enfocarse, esto se realiza en un tiempo de segundos a minutos [46]. En las redes neurocognitivas esto exige entregar más recursos a determinadas secciones de la red para asegurar una respuesta adecuada.

La última propiedad es la modulación instantánea, la cual se realiza en la capa de circuitos y neuronas. Este principio establece que el cerebro debe proveer mecanismos para sincronizar la comunicación entre los conjuntos de neuronas para asegurar una correcta correlación temporal al momento de mezclar información proveniente de diferentes fuentes, en el cerebro estos mecanismos trabajan en el orden de los milisegundos [47]. En las redes neurocognitivas esto significa que el mensaje debe de ser sincronizado con sus otros fragmentos.

4.3. Componentes Filogenéticos

Como se mencionó anteriormente, la filogenia es el conjunto constante de componentes y componentes cerebrales con los que cuenta una determinada especie [48]. Se han realizado avances en la definición de todos los componentes en los que se divide el cerebro humano, sin embargo, con cada avance en la tecnología de escaneo cerebral, y evidencia resultante de experimentos, es frecuente que surjan nuevas subdivisiones de áreas por lo que aún no se ha alcanzado un consenso general o una nomenclatura única para subdividir los diferentes componentes cerebrales [49]. Estos componentes pueden dividirse en materia gris y materia blanca, la primera constituida de redes de neuronas y con la principal función de transformar información, mientras la segunda provee largos trúncales de comunicación.

4.3.1. Módulos filogenéticos: Materia Gris

Retomando la clasificación funcional de Bressler de 2006 [41], la parte superior del cerebro está dividida en dos tipos de componentes, módulos y conexiones. Los dos tipos de componentes son la materia blanca y gris del cerebro humano. Estos son los principales componentes involucrados en la generación de la cognición.

La materia gris cubre los dos hemisferios cerebrales humanos [50]. Los núcleos y las áreas están compuestas de materia gris, la cual a su vez está compuesta principalmente del cuerpo de las neuronas las cuales están distribuidas en el cerebro. Es decir, la función principal de la materia gris es procesar y combinar los impulsos neurales. Aunque existen muchas propuestas para el indexado de las regiones cerebrales, estas varían en la granularidad de la segmentación y alcance de cada componente. Nuestra intención es usar estos índices para validar las posibles conexiones propuestas para las funciones cognitivas.

Áreas de Brodmann

Uno de los primeros intentos en separar el cerebro humano en base a características anatómicas fue propuesto por Dr. Korbinian Brodmann [51], el cual dividió el cerebro de los primates y humanos en 52 áreas corticales, basándose en su morfología y composición. En la actualidad esta propuesta continúa siendo ampliamente utilizada por neurólogos para localizar funciones neuropsicológicas en la corteza cerebral [52].

Desikan Killiany

Es un atlas creado a través de la segmentación automática de la corteza cerebral de adultos humanos. Este atlas subdivide las cortezas en áreas de interés (ROI) llamados gyros [53], cuenta con 34 ROIs para cada hemisferio cerebral y es ampliamente utilizado para segmentación automática de RFMI cerebrales de individuos, principalmente usado para fines de diagnóstico médico [54].

Talairich

Esta segmentación es propuesta en [55], originalmente como un sistema de coordenadas para indicar zonas cerebrales. Este atlas es muy utilizado por neurocirujanos en sus experimentos. En [56] se presenta el atlas Talairich para la segmentación automática de regiones cerebrales, proporcionando una detallada y jerárquica segmentación de las regiones cerebrales, desde el nivel de hemisferios hasta los conjuntos de neuronas. Este Atlas incluye gran parte del trabajo de Brodmann.

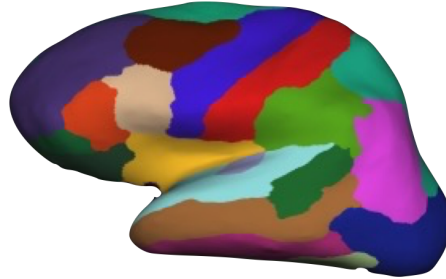


Figura 4.3: Visualización de Desikan Killiany <https://www.lead-dbs.org/wp-content/uploads/desikan.001.png>.

Herramienta de Segmentación automática: Free Surfer

A pesar de que no está dentro de nuestro objetivo describir las herramientas disponibles para realizar la segmentación del cerebro, nos pareció interesante mencionar una herramienta descrita en [42] la cual toma en cuenta la segmentación parcelaria de las cortezas basadas en Desikan [53], Destrieux [57] y Fischl [58], así como segmentación subcortical utilizando Fischl[59]. El nombre de esta herramienta es Freesurfer y está constituido por un conjunto de herramientas

4.3.2. Caminos Filogenéticos: Materia Blanca

Por su parte, es fácil suponer que si tenemos núcleos de procesamiento, estos necesitan cooperar y coordinarse. Además, dado que estos núcleos están distribuidos en el espacio cerebral, son necesarios canales de comunicación. Estos canales están constituidos por materia blanca. La materia blanca está compuesta de millones de axones recubiertos por una sustancia blanca llamada *mielina* [60]. La mielina protege los axones contra la interferencia; y mejora la velocidad de comunicación. Algunos estudios demuestran que la mielina puede mejorar la velocidad de comunicación por un factor de 100 [61]), además de crear conexiones bien definidas entre las diferentes áreas cerebrales. De esta manera se forman equivalentes de troncales de conexión de largo alcance, que pueden manejar pesadas cargas de trabajo.

Conectomas neuronales

Un conectoma es un mapa de las conexiones entre las neuronas del cerebro. Ahora bien, mientras los mapas cerebrales, los cuales se centran en las segmentación y delimitación de los componentes de materia gris, los conectomas tienen el principal objetivo de identificar los caminos conformados por materia blanca dentro del cerebro humano [62].

4.4. Desarrollo ontogenético

Cómo se describió anteriormente los canales formados de materia blanca trabajan a diferentes velocidades dependiendo de su estructura y otros factores como es la cantidad de mielina que cubre la cola de los axones.

Los oligodendrocitos son células perineuronales a cargo del proceso de generar y distribuir mielina. Este proceso de mielinización como se mencionó anteriormente protege a los axones y mejora su velocidad, incluso algunos estudios relacionan este proceso con la plasticidad [63][64]. Todos estos factores contribuyen al desarrollo ontogenético del cerebro humano.

Durante el desarrollo embrionario del cerebro humano, los oligodendrocitos son creados, estos se generan a partir de células precursoras hacia una célula oligodendroglia inmadura. Después de su creación, éstas células buscan axones para iniciar el proceso de mielinización. Al momento de cumplir con su proceso de búsqueda y la célula está madura inicia el proceso de mielinización. Una célula madura puede mielinizar hasta 30 diferentes axones al mismo tiempo [65]. Sin embargo el proceso de mielinización toma años, un humano promedio realiza este proceso continuamente en promedio hasta cumplir en promedio 20 años.

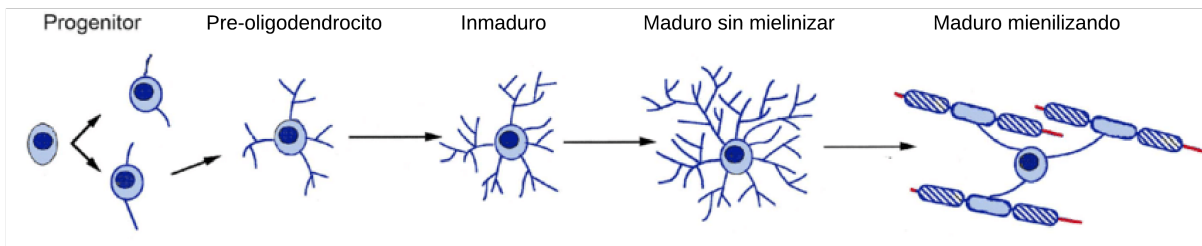


Figura 4.4: Proceso de desarrollo de la oligodendroglia [66].

Los oligodendrocitos tienen diferentes receptores de sustancias y estímulos que alteran su comportamiento [65]. Uno de estos estímulos son los impulsos eléctricos que viajan a través de los axones [67]. De esta manera, el constante uso de algunas secciones del cerebro mejoran su grado de mielinización. Así, el proceso de aprendizaje y práctica de habilidades guía a

este mecanismo, haciendo que ciertos caminos sean más rápidos que otros, proceso conocido como mielinización.

4.5. Asignación de recursos a corto plazo

Los astrocitos son células existentes en el sistema nervioso, estas sobrepasan en número a las neuronas en orden de 5 a 1 [68]. Su principal función es transportar y filtrar el oxígeno y los nutrientes de la sangre hacia las neuronas, conectando directamente desde los vasos sanguíneos a los cuerpos neuronales y las sinapsis [69].

Cuentan con una gran cantidad de receptores de neurotransmisores, desde actividad neuronal relacionada principalmente con glutamato. La activación de un astrocito a su vez libera glutamato, d-serina y ATP, causando una reacción de estimulación por áreas [70]

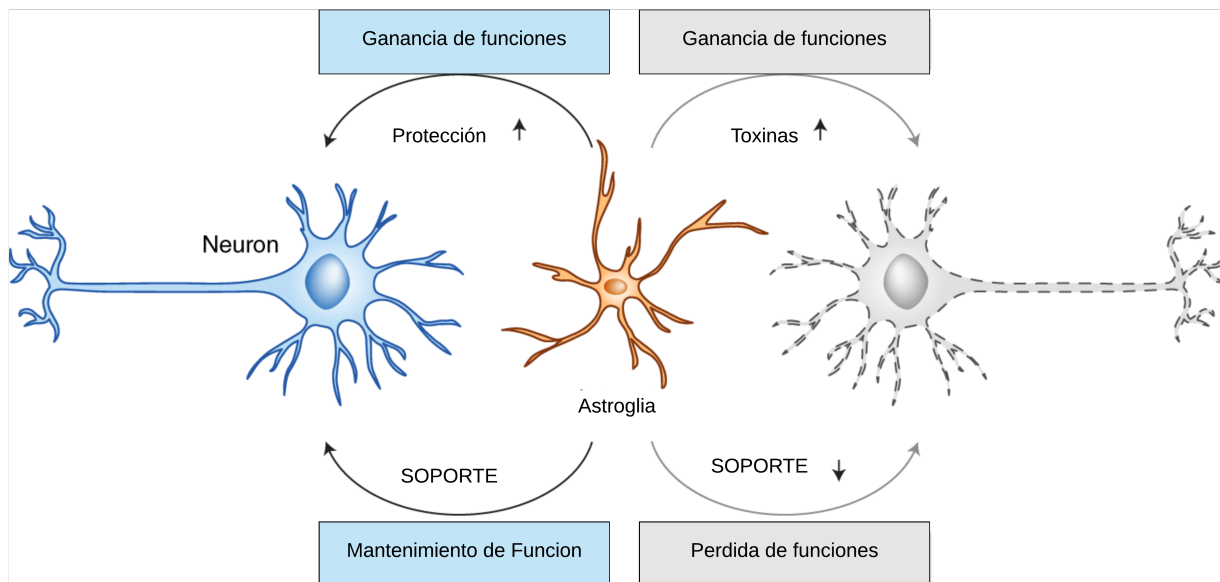


Figura 4.5: Infografía de funciones y desencadenadores de las astroglias. *Tomado de liddelow 2019* [71]

4.6. Sincronización a corto plazo

Llamamos oscilaciones neuronales a las diferentes frecuencias en las que el cerebro trabaja. Las oscilaciones son afectadas principalmente por neurotransmisores y intervienen directa-

mente en la sincronización y coherencia de la información. Muchos estudios han encontrado que hay una relación directa entre las anomalías en las oscilaciones neuronales y las enfermedades como Alzheimer, esquizofrenia y Parkinson.

Cuando el cerebro trabaja constantemente libera neurotransmisores extracelulares, estas sustancias pueden envolver un conjunto de neuronas que va desde un par a cientos o incluso toda una estructura y permiten una comunicación síncrona y consistente entre las neuronas influenciadas por esta sustancia. Entre más intensa sea la carga de trabajo, se libera una mayor cantidad de neurotransmisores para coordinar los impulsos neuronales en una área.

El cerebro trabaja de manera concurrente en diferentes procesos, cada área puede liberar un diferente tipo de neurotransmisor dependiendo de sus necesidades. Algunas sustancias mejoran la velocidad de conectividad mientras otras la disminuyen [72]. Dependiendo del tipo de neurotransmisor y la intensidad de la carga de trabajo, estos efectos pueden tener una duración que oscila entre milisegundos a minutos.

4.7. Mecanismos de soporte: Células Neurogliales

Células Neurogliales también conocidas como Glía, son un conjunto de células existentes en el cerebro que realizan tareas de soporte específicas y necesarias para que el cerebro siga trabajando. La mayoría de estas tareas no están relacionadas directamente al proceso de cognición, pero influyen en la coherencia de la información y la disponibilidad del sistema.

4.7.1. Seguridad: Microglia

Las microglías son pequeñas células gliales localizadas en el Sistema Nervioso Central (SNC), cerca de las neuronas en la materia gris y los caminos de fibra en la materia blanca, ellos forman una red regularmente distribuida en el SNC [73].

El conjunto de estas microglías conforman el sistema inmune del SNC, y su objetivo es destruir cualquier invasor exterior en el cerebro humano así como las neuronas enfermas en el SNC [74][75][76], las microglías fueron descubiertas en 1932 por Del Río Hortega en su artículo [77], en él, Del Río explica como él caracterizó un nuevo tipo de celular en el SNC al usar técnicas de impregnación de plata.

Pese a que microglías son células macrofagas, son diferentes de el resto de células macrofagas en el cuerpo humano, normalmente un macrofago viaja a través de la sangre hasta que es llevada a su tejido objetivo [78][79] mientras que en el SNC existe una barrera Sangre-Cerebro [80] que impide a la sangre cubrir la sustancia gris y blanca.

Normalmente las microglías se encuentran en un estado "inactivo", pero en alerta, cons-

tanamente monitoreando sus alrededores esperando que suceda algún evento anómalo, existen muchos tipos de estos eventos y estímulos [81][82] que desencadenan una activación (daño estructural, cambio funcional, invasión externa, neurotransmisores) y varias teorías acerca de cómo las microglías detectan estas anomalías [83]. Más aun, es conocido que las microglías tienen diferentes receptores de neurotransmisores [84], como glutamato, GABA, noradrenalina y dopamina, cada uno de estos cambia las propiedades de la membrana electrofisiológica de la microglía, además se sabe que los canales de potasio afectan la activación de la microglía [85], y el potasio es requerido para la activación neuronal, haciendo la activación neuronal otro factor en la activación de la microglía.

Como podemos ver en la figura 4.6, cuando un evento es detectado por la microglía, ésta cambia a un estado "activo", y empieza un proceso de contracción, cuando el proceso termina, la microglía está lista para empezar un episodio de fagocitosis, para eliminar el daño detectado [86][87].

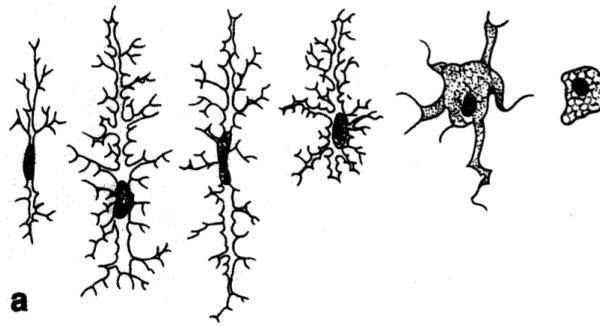


Figura 4.6: Proceso de activación de la microglía: A la izquierda podemos observar a la microglía en un estado de monitoreo, cuando las condiciones se cumplen, empieza una transformación para poder destruir las amenazas.

Microglía y contención de daños

Otro tipo de anomalía es detectada directamente a través de las neuronas, cuando un conjunto de neuronas empieza a mandar señales irregulares, la microglía es activada y su objetivo es destruir el conjunto no funcional [83].

Una vez que la microglía es activada se desplaza al área afectada y empieza su trabajo macrófago, destruyendo y devorando los elementos no deseados. Dependiendo de la cantidad de daño, la respuesta de la microglía puede ser más o menos agresiva. (figura 4.7). De acuerdo con [88], la microglía activada tiene propiedades neurotóxicas, ya que libera oxígeno reactivo, el cual es tóxico para las neuronas, esto le permite destruir las neuronas dañadas.

Sin embargo, este mecanismo tóxico puede ser peligroso para el SNC, ya que las toxinas

pueden destruir a las neuronas sanas por igual. Existe evidencia que respalda teorías que afirman que las microglías pueden dañar zonas enteras [89], lo cual puede influir en enfermedades como el Alzheimer o el Parkinson [90],

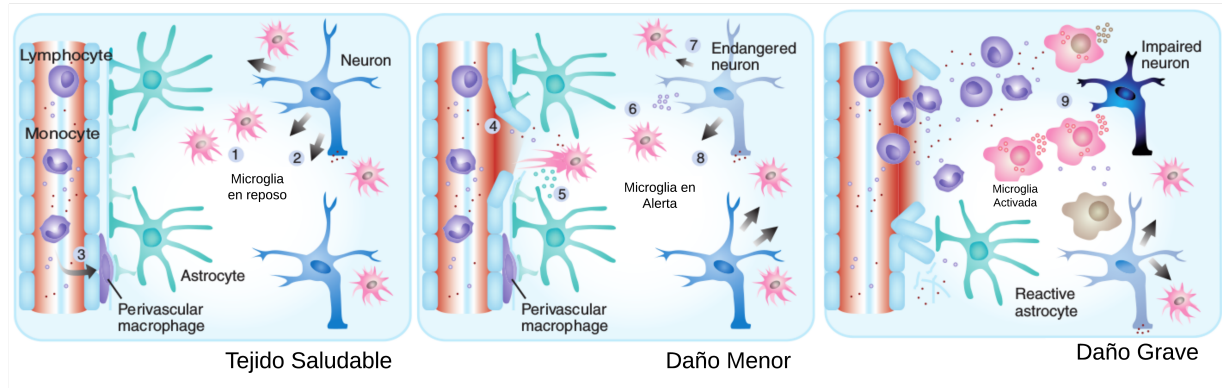


Figura 4.7: Comportamiento de la microglia en respuesta a los diferentes niveles de daño dentro del Sistema nervioso periférico Imagen de [86]

afortunadamente, el cerebro también cuenta con mecanismos para evitar este tipo de comportamientos [91], todavía está en discusión cuáles son las condiciones que hacen que estos mecanismos fallen.

En este punto la microglia ha cumplido su objetivo de destruir el conjunto dañado, además existen efectos post-fagocitosis que describimos en la siguiente sección.

Neurogénesis y recuperación.

Después de la actividad fagocitosa, existe una gran cantidad de macrófagos en la sección dañada, y estas células propician la producción de citocina inter leucina-1, la cual regula el crecimiento de nervios [92]. Además, la microglia libera Trombospondina la cual estimula la sinaptogenesis [93][94] estos hechos sumados a la remoción de mielina debido al episodio de fagocitosis (La mielina actúa como un inhibidor del crecimiento de los nervios [95]), proporcionan un buen ambiente para la recuperación de la sección afectada.

Capítulo 5

Propuesta

En este capítulo mostramos detalladamente nuestra propuesta para el diseño e implantación de un sistema para el desarrollo de arquitecturas cognitivas. Iniciaremos con una descripción del estado actual del proyecto, los requerimientos que debemos cumplir, continuando con un listado las consideraciones y necesidades que se extrajeron del estado del arte en el área de neurociencias en esta investigación, las cuales fueron transformadas en características que un sistema de software debe cumplir, además presentamos los diferentes modelos y protocolos basados en neurociencia que hemos establecido para ser usados en el diseño de una arquitectura cognitiva bio-inspirada.

5.1. Trabajo previo

En el trabajo de investigación previo descrito en [96] se presentó una arquitectura de software general para resolver el problema de la integración de software para arquitecturas cognitivas. El resultado de este trabajo previo fue la propuesta y despliegue de un "framework" para la implementación de diagramas de flujo de alta modularidad, asegurando la correcta identificación de cada modulo, también desarrollamos una herramienta gráfica, implementada como un plugin para eclipse [97] que permite al usuario, crear módulos y conexiones a través de una interfaz WYSWYG.

Este software puede manejar la integración a través de múltiples dispositivos en la misma red, sin embargo, la configuración para lograr esto debe de ser manejada por el usuario.

La arquitectura del sistema proporciona para su ejecución dos componentes abstractos principales que son los Nodos Grandes y los Nodos pequeños. Los Nodos grandes tienen la responsabilidad de crear puntos de referencia e identificación de un conjunto de nodos pequeños, cada nodo pequeño implementa el comportamiento de un modelo específico.

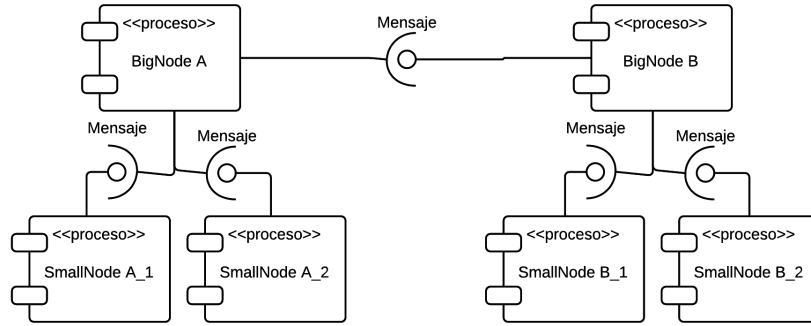


Figura 5.1: Arquitectura general de KMiddle

Los nodos grandes se encuentran unos a otros a través de protocolos de anuncio y búsquedas implementados sobre multicast seguro. Para encontrar un nodo pequeño específico, un nodo grande usa el protocolo de búsqueda para preguntar a todos los miembros de un grupo multicast si conocen la dirección del nodo deseado, como respuesta, el nodo grande recibe la dirección IP y puerto para establecer una comunicación directa con el nodo deseado.

Cada nodo pequeño encapsula un modelo o parte de él, los nodos grandes tienen la responsabilidad de administrar, replicar y distribuir el trabajo a través de las diferentes instancias de nodos pequeños.

5.2. Meta arquitectura

Siguiendo la metodología Cuayollotl y conociendo el estado del arte de neurociencias y computación referente a la comunicación cerebral se procede a realizar la meta arquitectura.

5.2.1. Contexto

Para el desarrollo de nuestra propuesta se manejan los siguientes conceptos:

- Área: Es una abstracción de una estructura cerebral
- Actividad: Es una tarea perteneciente a una Área
- Diagrama de núcleos: Es utilizado por la metodología Cuayollotl, este contiene todas las estructuras cerebrales (núcleos) y sus diferentes actividades.

- Diagrama actividad: Tomando como elementos los núcleos y las actividades, muestra las conexiones y los flujos de información entre las actividades.
- Conectoma: Es un mapa las Áreas válidas y las conexiones permitidas entre las ellas, de acuerdo a evidencia biológica.

5.2.2. Objetivos

El objetivo de esta propuesta es desarrollar una plataforma que facilite el desarrollo de ACBIs por medio de modelos de comunicación, coordinación y sincronización y de verificación de interconexión. Los módulos que representan las diferentes funciones cognitivas deben de estar basados en evidencia biológica. Los mecanismos propuestos deberán asegurar el correcto comportamiento de la ejecución de funciones cognitivas concurrentes para generar un comportamiento de la entidad informática similar al humano cuando ambas son sometida a situaciones similares. Para este fin es necesario:

- Identificar los componentes del cerebro humano que se encargan de la comunicación entre funciones cognitivas, más específicamente de la coordinación y sincronización de dichas funciones cognitivas.
- Identificar los mecanismos de soporte para el procesamiento de información en el cerebro humano
- Proponer modelos de coordinación y sincronización entre módulos de funciones cognitivas.
- Integrar estos modelos de comunicación en un framework para generar ACBI.
- Estudiar cómo implementar la verificación de la conexión entre las diferentes partes de un función cognitiva y entre funciones cognitivas.
- Probar los resultados del framework a través de algunos casos de estudio.

5.2.3. Alcances y limitaciones

De este trabajo se espera la implementación de un framework con funcionalidades basadas en evidencia biológica, la evidencia se toma de las capas inferiores para afectar el comportamiento de las superiores.

5.2.4. Funcionalidades

Con base en la evidencia presentada en el capítulo "Principios de comunicación en el cerebro humano", se pudieron identificar 5 funcionalidades relacionadas con el correcto funcionamiento de los componentes cerebrales.

5.2.4.1. Definición Filogenetica

La definición filogenetica establece que las Áreas utilizadas en un modelo cerebral, deben pertenecer a los definidos en un atlas cerebral y las conexiones entre estos deben pertenecer a un conectoma. El framework utiliza esta información para validar la veracidad neurogenetica de los modelos implementados en el.

5.2.4.2. Adaptación ontogenética

La adaptación ontogenética establece que debe existir una funcionalidad en la que las Áreas y Actividades con mayores cargas de trabajo deben de recibir prioridad en la asignación de recursos inicial, con el objetivo de evitar cuellos de botella en la ejecución de la arquitectura cognitiva.

5.2.4.3. Adaptación a corto plazo

Durante cargas de trabajo intensas y cortas se requiere que las Áreas y Actividades puedan obtener recursos adicionales por tiempo limitado, permitiendo que el sistema soporte los picos de tráfico.

5.2.4.4. Adaptación instantánea

Es necesaria la creación de un protocolo para la sincronización temporal de los paquetes de información. El cual está inspirado en los neurotransmisores extracelulares, los cuales sincronizan la velocidad de trabajo de los clusters de neuronas.

5.2.4.5. Seguridad y Rehabilitación

La función de Seguridad está basada en el principio de contención del daño y fagocitosis proveída por las microglías, así como el proceso de rehabilitación que se cree también está a cargo de las mismas gliales.

5.3. Requerimientos, restricciones y características de la arquitectura cognitiva Cuāyōllōtl

El objetivo de la arquitectura cognitiva Cuāyōllōtl [12][98][99][100][101] es crear un modelo funcional de la mente, capaz de generar comportamiento humano creíble. El modelo funcional está constituido por modelos de funciones cognitivas que basan su funcionamiento en evidencia neurocientífica. Nuestra arquitectura debe de manejar, integrar y coordinar un número considerable de modelos. Este requerimiento hace imposible que una arquitectura centralizada maneje la carga de trabajo necesaria para llevar esto a cabo. Por esto es necesario que nuestra arquitectura se base en los principios de los sistemas distribuidos descentralizados [102].

Requerimiento: Debe de ser una arquitectura distribuida, los mecanismos de control deben de ser completamente descentralizados.

Otro objetivo de la arquitectura cognitiva Cuāyōllōtl es el poder evaluar la interacción entre diferentes entidades virtuales. Para cumplir este requerimiento, el sistema debe permitir la ejecución de múltiples instancias de Cuāyōllōtl, además de que es necesario que las instancias puedan comunicarse en el mismo ambiente. Para la ejecución distribuida limitamos la ejecución a un ambiente estructurado como es el caso de un cluster de computadoras, además, por motivos de seguridad y desempeño este cluster está limitado a una red local.

En resumen, algunos de los requerimientos establecidos incluyen:

- *Requerimiento:* El "framework" debe proporcionar métodos para conectarse a un motor gráfico.
- *Requerimientos:* Varias instancias de Cuāyōllōtl pueden ser ejecutadas concurrentemente en la misma red.
- *Requerimientos:* Varias instancias de Cuāyōllōtl pueden ser ejecutadas en la misma computadora.
- *Requerimientos:* El "framework" debe permitir la ejecución transparente y distribuida a través de la red local.

Basado en los componentes filogenéticos del cerebro humano y las capas de abstracción en las que la arquitectura cognitiva Cuāyōllōtl trabaja, nuestro módulo primario será el núcleo cerebral, en el cerebro humano cada núcleo puede realizar un conjunto diferente de tareas al mismo tiempo, es por eso que decidimos usar contenedores representando los núcleos cerebrales, los cuales llamamos áreas, estas adjuntan módulos de ejecución llamados procesos.

- *Requerimiento:* Un modelo es una asociación directa a un diagrama cognitivo.
- *Requerimiento:* Los módulos están basados en abstracciones de núcleos cerebrales.
- *Requerimiento:* Cada módulo puede ejecutar diferentes procesos.
- *Requerimiento:* Cada módulo del proceso debe ejecutarse de manera concurrente.

En este punto hemos declarado que un área tiene diferentes procesos acoplados, debemos remarcar que esto no significa que sean parte de él, esto nos permite ejecutar un proceso, físicamente independiente de un área, haciendo posible ejecutar un proceso en un dispositivo diferente al de el área, sin embargo esto nos fuerza a crear métodos de seguimiento y comunicación entre áreas y procesos.

- *Requerimiento:* Cada área y proceso debe contar con su propia dirección de capa de aplicación.

Como se declaró en el párrafo anterior, necesitamos un método para comunicar áreas y procesos independientes, cada protocolo tienes sus propias ventajas y limitaciones, así que en lugar de elegir un protocolo y declararlo nuestro único método de comunicación entre módulos, implementamos un conjunto de protocolos y cambiamos entre ellos de acuerdo a las características específicas de los elementos que se comunicaran.

Requerimiento: El software debe elegir entre una cantidad de diferentes protocolos para enviar datos por ejemplo: TCP, UDP, memoria compartida, etc.), de acuerdo a las restricciones y ventajas de los módulos.

Requerimiento: Los módulos deben de ser capaces de comunicarse únicamente con un conjunto de módulos pre-seleccionados.

Requerimiento: La tabla de ruteo solo debe de contener los elementos necesarios, es decir debe de ser simple a fin de simplificar su administración.

Además de estar basada en la evidencia expuesta en el capítulo 4.2, el cerebro de cada especie tiene un proceso de gestión definido, cuando las conexiones por defecto son desarrolladas, esto está definido como filogenia [48], esto en conjunto con los atlas cerebrales y conectomas permiten brindar un marco de trabajo de para establecer flujos de comunicación. En el campo de arquitecturas cognitivas, contamos con diagramas cognitivos, los cuales marcan el flujo de información de un modelo predefinido, basado en esto, conocemos el número de diferentes modelos que serán desplegados, las necesidades de estos; si relacionamos el número de computadoras pertenecientes al cluster y los recursos que estas disponen, podemos realizar trabajos de puesta en marcha con cargas balanceadas, esta actividad de despliegue la llamamos Gestación.

5.3. REQUERIMIENTOS, RESTRICCIONES Y CARACTERÍSTICAS DE LA ARQUITECTURA COGNITIVA

Requerimiento: Existe un número definido de módulos para ser distribuidos en la red.

Requerimiento: La distribución de los módulos debe de estar basada en los diagramas cognitivos.

Requerimiento: Este balanceo debe tomar en cuenta los requerimientos de los módulos y los recursos de los equipos.

El cerebro humano tiene diferentes tipos de células y mecanismos para asegurar y mantener su correcto funcionamiento, entre las principales células de soporte se encuentran los Astroцитos, responsables de proveer los nutrientes necesarios a las neuronas, la microglia se encarga de destruir cualquier elemento no deseado dentro del cerebro, y la oligodendroglia que se encarga de mejorar la velocidad de transferencia de información y de la integridad de los potenciales de acción a través de los axones de las neuronas

Requerimiento: Existe un mecanismo para otorgar recursos a los procesos.

Requerimiento: Existe un mecanismo para detectar y destruir amenazas y módulos erróneos.

Requerimiento: Existe un mecanismo para optimizar la comunicación entre módulos.

Requerimiento: El mecanismo de coordinación está distribuido a través de todo el cerebro humano.

Requerimiento: Existe sincronización a diferentes niveles.

5.3.1. Clasificación de Requerimientos

Ordenando y clasificando los requerimientos justificados en la sección anterior, obtenemos una lista útil para evaluar nuestro progreso a través del proceso de diseño.

5.3.1.1. Requerimientos Arquitecturales

ID	Requerimiento
CS1	Debe permitir una ejecución distribuida transparente a través de la red local
CS2	Varias instancias se pueden ejecutar en la misma red local
CS3	Varias instancias se pueden ejecutar en el mismo dispositivo
CS4	Sus modelos deben de estar basados en abstracciones de núcleos cerebrales
CS5	Cada módulo puede ejecutar diferentes procesos
CS6	Cada proceso de un módulo debe ser ejecutado en paralelo
CS7	Un modelo es una asociación directa un diagrama cognitivo
CS8	La distribución del Software debe estar basado en un diagrama cognitivo

Continues on next page

ID	Requerimiento
CS9	Debe de contar con una política de balance de carga entre los componentes de la red

5.3.1.2. Requerimientos de red

ID	Requerimiento
NW1	Cada módulo y proceso debe contar con su propia dirección en la capa de aplicación
NW2	El algoritmo de control no debe depender de un solo módulo
NW3	El software debe escoger entre diferentes protocolos para el envío de la información (tcp, udp, memoria compartida) de acuerdo a las características actuales
NW4	Los módulos sólo deben de ser capaces de comunicarse con un conjunto de módulos pre-seleccionados
NW5	Existe un número definido de módulos para ser distribuidos dentro de la red
NW6	La tabla de direccionamiento debe consistir sólo en los módulos necesarios

5.3.1.3. Requerimientos de neurociencias

ID	Requerimiento
NS1	El método de coordinación debe de estar distribuido a través de todo el cerebro
NS2	Existe sincronización a diferentes niveles.
NS3	Existe una política para el otorgamiento de recursos.
NS4	Existe un mecanismo que permite a los núcleos exhibir diferentes comportamientos

5.4. Comunicación e integración: De requerimientos a modelos

Como se explica en la metodología de desarrollo de la arquitectura cognitiva Cuāyōllōtl [12], el enfoque de nuestra arquitectura divide la mente en las "capacidades" necesarias para asegurar un procesamiento cognitivo exitoso, estas son llamadas "funciones cognitivas". Estas funciones están compuestas de núcleos cerebrales que pueden realizar un determinado número de diferentes procesos.

Usamos la aproximación de núcleos cerebrales para determinar el número esencial de modelos de nuestro sistema [103][104]. Este elemento básico es una representación de un área cerebral, usando esta estructura, nuestro sistema tiene la tarea de identificar y brindar

conectividad entre módulos a través de toda la red, además de coordinar y sincronizar la comunicación entre estos.

Debido a el nivel de abstracción de nuestro sistema, no es conveniente utilizar el paradigma de activación por redes neuronales como nuestro paquete de información primario, en lugar de ello, usamos una abstracción de un conjunto de impulsos llamada *Spike*.

5.4.1. Diagramas de Arquitecturas cognitivas

De acuerdo con los la metodología de torres [12], el correcto modelado de una función cognitiva debe de conllevar la realización de diferentes diagramas para su conceptualización. Uno de estos diagramas es el diagrama de actividad, en el cual se muestran las diferentes áreas que componen una función cognitiva, y el orden de la comunicación entre ellas.

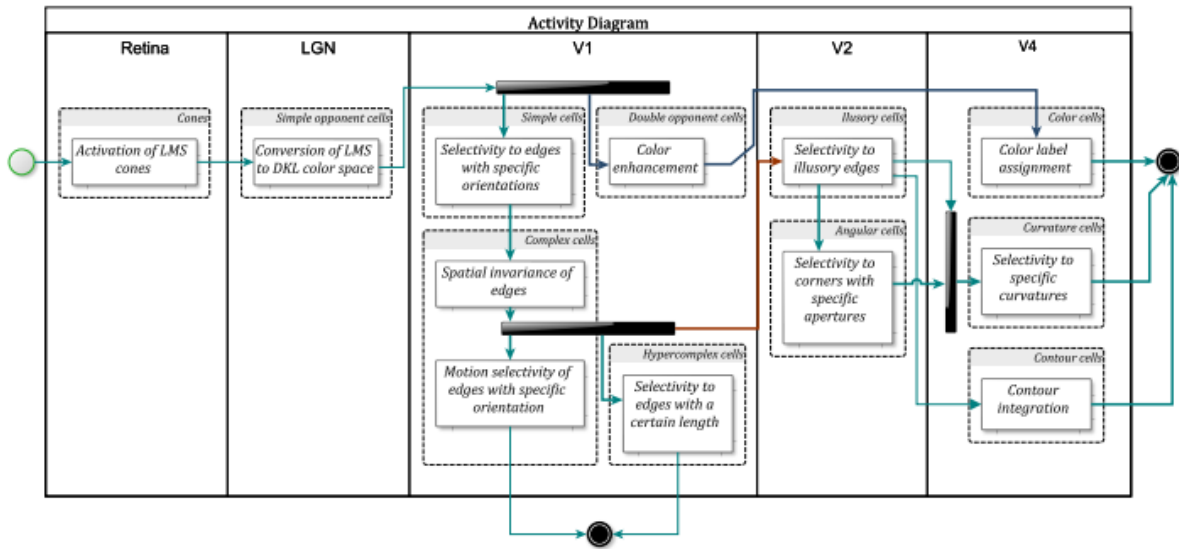


Figura 5.2: Diagrama de actividad

Este trabajo desea proveer métodos para unificar y comunicar un número determinado de módulos heterogéneos de un sistema, los diagramas de actividad proveen un medio efectivo para conocer la estructura del sistema, los módulos e interdependencias entre ellos. La figura 5.2 muestra un diagrama de actividad los componentes y conexiones de una función cognitiva, esto nos permite abstraer esos componentes como un grafo dirigido, proveyendo una fácil identificación y análisis del sistema entero.

Este grafo incluso puede incluir métricas de cargas de trabajo y requerimientos específicos para cada modelo (por ejemplo: operaciones Matemáticas intensas o una gran capacidad de

memoria), toda esta información nos permite crear un perfil para el sistema y manejarlo de una manera óptima.

5.4.2. Sincronización

Todos los sistemas distribuidos en una necesidad implícita de sincronización, para asegurar que la información está en el lugar correcto en el tiempo correcto, las arquitecturas cognitivas nos son la excepción e incluso del cerebro humano tiene esta característica. Explicaremos los tipos de sincronización basados en los principios neurocognitivos de Bressler [41].

Modulation instantanea

Esta característica afirma que debe de existir un método para asegurar la asociación correcta de mensajes con relación temporal. Cuando la información se recibe de una sola área, esta viaja auto contenida como un *Spike*, y al momento de llegar es procesado, sin embargo en situaciones donde dos o más paquetes de diferentes áreas cerebrales deben de ser combinados para proveer información útil, el framework debe poder determinar cuales *fragmentos de Spike* están relacionados y cómo combinarlos. Para poder simular esta característica, nos basamos en la influencia de los neurotransmisores sobre los núcleos cerebrales, los cuales crear retrasos en los tiempos de descarga, permitiendo que se acumulen más Spikes antes de proceder a la activación.

Esto puede ser expresado como: un Spike S es compuesto por n fragmentos de información F , tal que la propiedad de tiempo t de cada fragmento debe de ser el mismo.

$$F^n \in S \succ t(F^n) = t(S)$$

De la misma manera en que los cluster de neuronas se sincronizan al liberar sustancias para oscilar en la misma frecuencia temporal e incrementar la tolerancia del acoplamiento de impulsos eléctricos, en nuestro sistema la información mal sincronizada lleva a ajustar la tolerancia del sistema B para poder preservar cierto grado de funcionalidad, este parámetro de tolerancia es una simulación de los efectos del balance de dopamina y gaba en los enlaces pre y postsinápticos [105][106], estos neuro-transmisores son liberados de acuerdo al desfase en los patrones de disparo, la función de inclusión ahora es:

$$F^n \in S \succ t(F^n) = t(S) \pm \log(B)$$

Si el sistema tiene un alto grado de desfase, B crecerá para poder compensar el desfase en el tiempo de los mensajes y así permitir al sistema continuar trabajando.

Modulación a corto plazo

En el cerebro humano las cargas de trabajo intensas en áreas específicas, desencadenan mecanismos basados en neurotransmisores para mejorar la velocidad de procesamiento de determinados núcleos, estos mecanismos de modulación optimizan la conectividad para proveer la velocidad de procesamiento necesaria.

En nuestro framework, el sistema determina qué área necesita más recursos para trabajar de manera apropiada, esto lo realiza mediante el número de mensajes encolados para procesamiento. Si existen mensajes formado un cuello de botella, *De ser posible* el sistema crea réplicas temporales del proceso, para paralelizar el procesamiento de paquetes y aumentar el número de recursos que el equipo huésped destina a esta área.

Modulación a largo plazo

Cuando el cerebro humano opera, este ejecuta mecanismos ontogenéticos para mejorar la comunicación de sus áreas a largo plazo, fortaleciendo unas conexiones y debilitando otras. Estos mecanismos funcionan con la estimulación de la oligodendroglia, la cual refuerza los enlaces neuronales. De acuerdo a la topología de un sistema distribuido, existen diferentes canales de comunicación disponibles.

Los métodos de comunicación mas comunes incluyen:

- Canal de red P2P (N)
- Canal de memoria compartida (S)
- comunicación inter proceso (I)

Cada elemento de esto tiene su propio "throughput. estimado TH de acuerdo a las condiciones de los dispositivos físicos D que están corriendo el módulo en un tiempo t y los canales de comunicación C seleccionados entre el remitente *source* y el destinatario *target*. Esto puede ser determinado por la ecuación:

$$TH = estimatedThougputh(D^t, C_{target}^{source})$$

Esta ecuación nos ayuda a estimar la velocidad de comunicación máxima que dos módulos puede alcanzar bajo determinadas condiciones. Debemos de contemplar que un módulo tienen un número determinado de entradas I , y que el estado óptimo es cuando el TH de cada módulo puede sobrepasar la carga de trabajo WJ .

$$OPTIMAL = \prod_{n=0}^I \begin{cases} 1 & \text{if } estimatedThroughput(D^t, C_M^I) > wl \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Cuando un módulo no se encuentra en una estado óptimo debido al incremento en la carga de trabajo, el sistema debe correr una evaluación, para cambiar los protocolos de comunicación o el dispositivo si es posible, esta evaluación trabaja obteniendo el TH máximo posible con cada miembro del cluster”.

$$newDevice = \text{máx}(estimatedThroughput(D_1^t, C_{target}^{source}), \dots, estimatedThroughput(D_N^t, C_{target}^{source}))$$

Sí una opción mejor está disponible, el sistema moverá el módulo a un nuevo dispositivo.

5.4.3. Sistema de alojamiento de recursos

Balanceo inicial del sistema

Nuestro sistema tiene la ventaja de que conoce los patrones de conectividad de cada módulo que lo compone, además de sus necesidades ó demandas, esto es conocido como la propiedad filogenética [41] y se representa a través de *conectomas neuronales*.

Esta representación genera un grafo dirigido el cual es posible analizar para encontrar dependencias, hubs, troncales, cliques y otras propiedades de grafos, con esta información es posible más la información de los dispositivos de red es posible, realizar un balanceo de recursos inicial, el objetivo de esto es optimizar desde el comienzo las cargas del sistema distribuido.

El problema de emparejamiento

Con el grafo anteriormente mencionado se pueden extraer las propiedades topológicas del sistema. Esto se traduce en poder caracterizar el nivel de dependencia entre 2 o varias unidades, creando módulos de alta adherencia, esto se puede observar en la figura 5.3.

Estos componentes, pueden tratarse como una sola unidad, priorizando los mecanismos de comunicación para utilizar los más eficientes. En el caso de la figura 5.3, se desea que todos los elementos que conforman un clique, deberían de comunicarse utilizando memoria compartida, para eso es necesario que se coloquen en la misma unidad de procesamiento.

Adicionalmente a las propiedades topológicas, se necesitan agregar las propiedades individuales de cada nodo, sus requerimientos especiales como uso de GPU o consumo de memoria

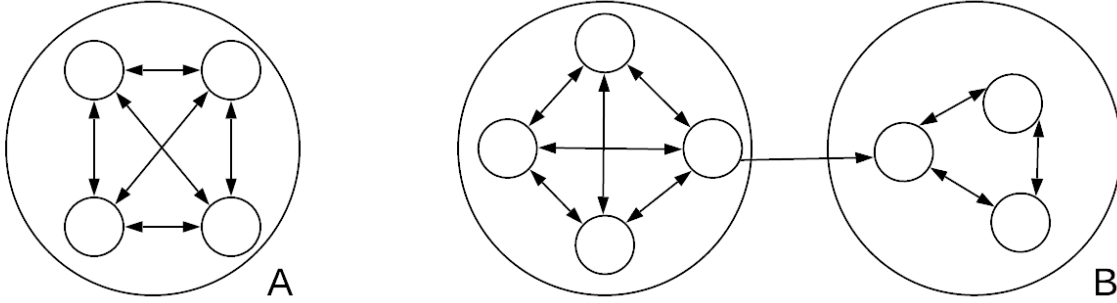


Figura 5.3: (A) Un clique es un conjunto de nodos completamente conectado, este debido a su alto nivel de dependencia es posible tratarlos como una sola unidad. (B) Un gateway es una conexión entre dos cliques o un clique y otro nodo, estas conexiones normalmente manejan un flujo de información mas alta que los enlaces normales.

RAM, en un escenario ideal cada clique podría contar con su propio núcleo de procesamiento para alojar a todos los elementos que lo conforman.

Para poder realizar esta asignación se necesita el poder expresar las capacidad de cada equipo y las necesidades de cada nodo. La capacidad se puede expresar como un vector de características C_V donde cada dimensión indica la capacidad máxima disponible:

$$C_V = \{CPU_{cores}, RAM, GPU_{cores}, Net\}$$

Para poder determinar si un conjunto de nodos puede ejecutarse dentro de la capacidad de cómputo de un equipo de procesamiento, la sumatoria de los N_V vectores de cada uno de los nodos que serán asignados a un equipo, tiene que ser menor que el vector de la capacidad de cómputo del equipo.

$$\sum_{i=0}^x N_V < C_V$$

La información relacionada con el vector de requerimientos es almacenada en el grafo de conectomas, esta información puede ser introducida por el diseñador de los modelos y adicionalmente puede ser obtenida en tiempo de ejecución, a través del uso de los modelos y se realiza aprendizaje continuo de las necesidades de procesamiento y memoria promedio

que cada nodo utiliza.

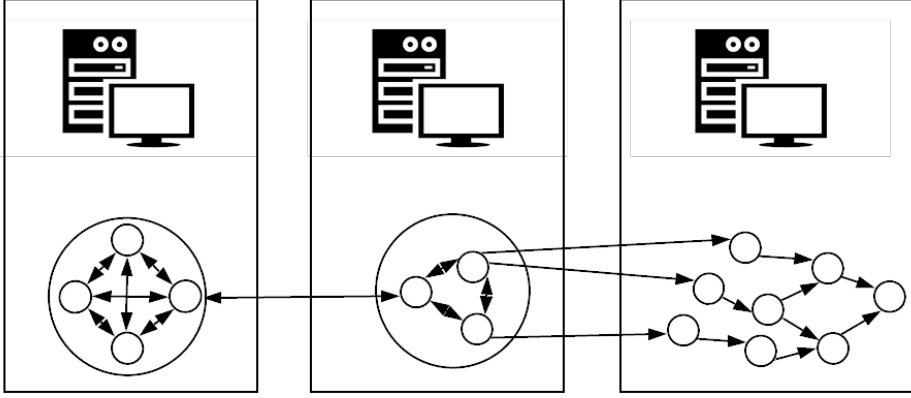


Figura 5.4: Distribución de 2 cliques así como 8 Nodos sin una dependencia tan estrecha.

5.4.3.1. Mecanismos de seguridad

Como se vio en capítulos anteriores las microglías están encargadas de la seguridad, destruyendo cada amenaza externa o interna en el sistema nervioso central, y además actúa como un sistema de recuperación de fallas, estimulando la regeneración neuronal.

cada microglía está en constante monitoreo de su área de cobertura en búsqueda anomalías, estas anomalías pueden ser muy diferentes: potenciales de acción irregulares, células no identificadas, niveles anormales de neurotransmisores.

En nuestra arquitectura existe un mecanismo de monitoreo de la capa de aplicación basada en microglía, un sistema de respuesta a eventos, este sistema es pasivo a toda la comunicación autorizada, sin embargo, cuando una serie de mensajes no pueden ser decodificados de acuerdo a lo establecido por el framework o no tienen autorización de comunicación entre dos puntos, de acuerdo al grafo basado en conectomas. Este índice de salud H se calcula a través de la fórmula:

$$H = \sum_{i=0}^n A_i I_i / n$$

Donde n es el número de mensaje enviados, A determina si la comunicación entre puntos es permitida o no, e I indica la integridad del mensaje. Una vez que el índice de salud H cae

por debajo de un umbral definido por el sistema, se desencadena el evento de restricción del nodo. Este proceso conlleva al protocolo de reenvío de conexiones y recuperación.

Reenvío de conexiones y recuperación

En cada sistema computacional, una falla puede ocurrir, cuando un modulo falla, y el flujo de la información es interrumpida. En el cerebro se cree que la microglía tiene la habilidad para estimular el envío de la información por medio de la elongación de axones. Así, en nuestro "framework", cuando una conexión es perdida, otro mecanismo de la capa de comunicación se activa. Este es el mecanismo de reenvío de conexiones. Como se puede apreciar en la figura 5.5 el mecanismo de recuperación funciona de la siguiente manera:

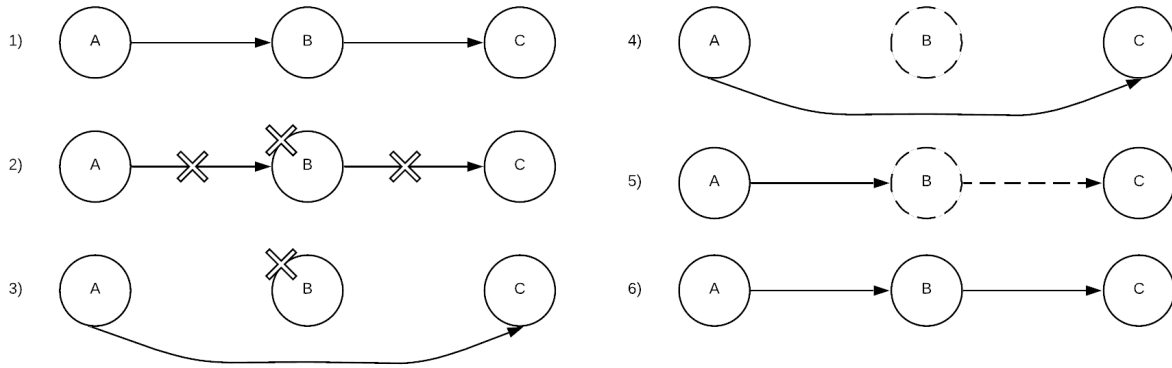


Figura 5.5: Sistema de reenvío de conexiones, se activa al detectar que un nodo dentro del sistema ha colapsado o se ha comprometido.

1. El sistema se encuentra funcionando de manera adecuado, el nodo A envía información a el nodo B, el nodo B envía información al nodo C.
2. Se detecta una falla en el nodo, los intentos de comunicación del nodo A hacia el nodo B, fallan y por lo tanto los mensajes nunca arriban al nodo C.
3. El sistema ejecuta el protocolo de reenvío de mensajes entre el nodo A y C, estos mensajes son estímulos falsos que se encuentran codificados en el B, estos están disponibles a través del grafo de conectividad del sistema.
4. Se genera una nueva instancia de B, la cual pasará por un proceso de recuperación.
5. Las comunicaciones de A son direccionadas a la instancia B en proceso de adaptación. Los mensajes son ponderados por el índice de recuperación, el cual aumenta de manera lineal conforme recibe más mensajes.

6. Una vez pasado el proceso de recuperación, el sistema se encuentra en un estado similar anterior a que se presentara la falla.

5.5. Resumen del capítulo

Con los modelos presentados con anterioridad se ha satisfecho hasta el punto 4 de los 6 objetivos específicos de esta tesis. Presentando modelos que representan las funcionalidades de sincronización, soporte y recuperación de fallas del cerebro humano.

En el siguiente capítulo veremos los patrones arquitectónicos que nuestra propuesta seguirá para poder integrar de manera efectiva estos modelos en un framework para arquitecturas cognitivas bio-inspiradas.

Capítulo 6

Arquitectura

En esta capítulo se presentan los diferentes protocolos y componentes que fueron implementados en el framework cuayolotl. Primero revisaremos cuales son los componentes principales y los mecanismos generales que coordinan las interacciones entre ambos, para posteriormente revisar los protocolos específicos de ruteo, validación, recuperación y balanceo.

6.1. Vista por capas

En la figura 6.1, se observan las diferentes capas que conforman al framework Cuayollotl. Las capas superiores dependen de las funciones de las capas inferiores, las funciones en capas inferiores son abstraídas, para las capas superiores.

- **Servicios:** En esta capa encontramos los métodos de coordinación entre miembros de un cluster de equipos, en esta capa encontramos métodos para el manejo de subscriptores, descubrimiento de nuevos miembros, balanceo de cargas e inicialización de nodos de las capas superiores.
- **Entidad:** Esta capa se encarga de administrar los componentes específicos de una Entidad, aquí se encuentra la capa de seguridad y validación de las conexiones además de proveer los mecanismos de rehabilitación en caso de fallo.
- **Áreas:** Se encarga de proveer las funcionalidades utilizadas por las abstracciones de las "Estructuras cerebrales", como la sincronización de los paquetes de información en la comunicación entre Áreas
- **Actividades:** Encapsula la lógica de los modelos para poder ser administrados como instancias aisladas de funciones.

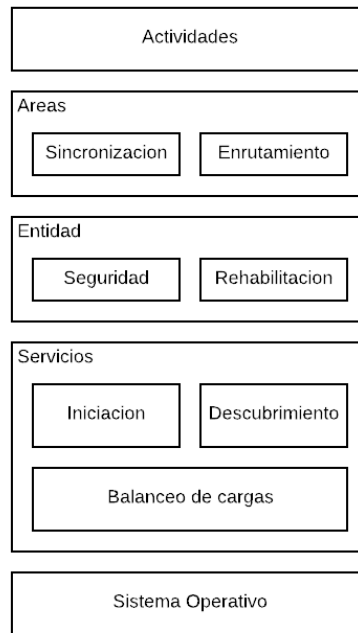


Figura 6.1: Diagrama de capas del framework cuayollotl.

6.2. Diagramas de componentes

Como se presentó en la sección de propuesta, los componentes principales del framework son *Áreas* y *Actividades*, sin embargo para que estos dos componentes puedan realizar su trabajo debidamente se necesitan una serie de capas de servicio.

- Código de usuario: Este componente encapsula la lógica de aplicación de las *Áreas* y *Actividades*, integrándolas al flujo del Framework y permitiendo administrarlas.
- Selector de protocolo de comunicación: De acuerdo con las condiciones del emisor y receptor, este componente seleccionara el protocolo de comunicación optimo para enviar un mensaje, estos pueden ser TCP/IP o comunicación.
- Monitoreo y seguridad: Los canales de comunicación entre dos componentes del sistema son comparados con el grafo de conectividad que representa los conectomas. En caso de que los canales no estén especificados el framework manda advertencias acerca de la validez del modelo.
- Rehabilitación: Administra el estado de los diferentes componentes del sistema, deshabilitando, activando o ponderando los deferentes caminos de información, ademas de

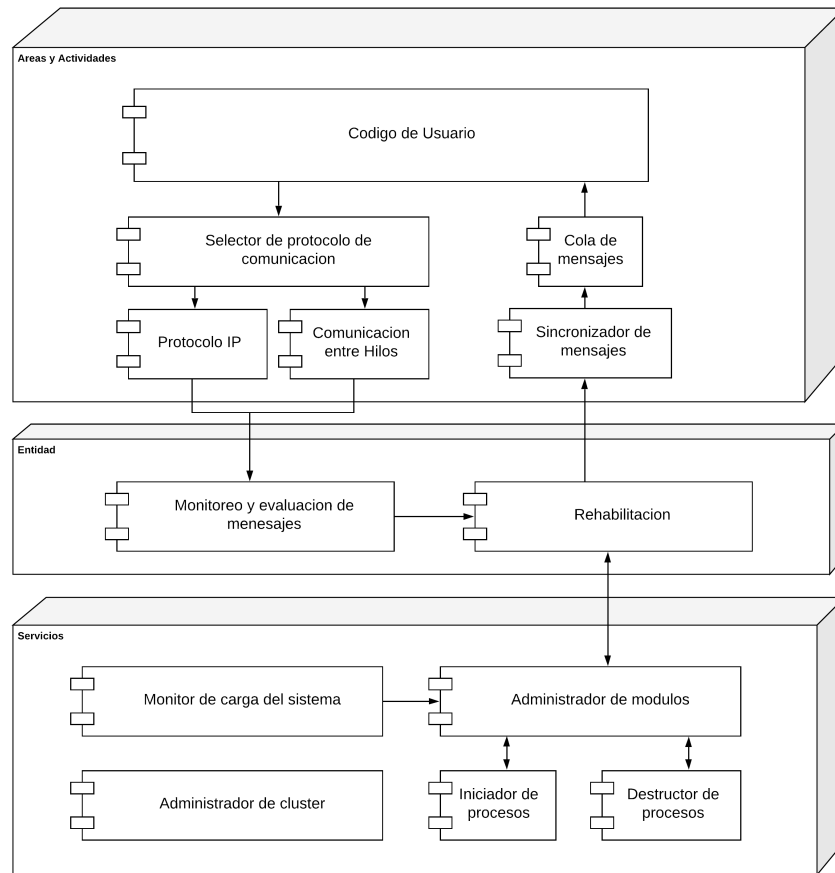


Figura 6.2: diagrama de componentes del framework cuayollotl.

ejecutar las funciones de cálculo de *Indice de salud* expuestos en el capítulo anterior.

- **Sincronizador de Mensajes:** Se encarga de integrar los diferentes fragmentos de información, considerando el orden temporal de estos. Una vez integrados son enviados a una cola "First-In-First-Out"
- **Administrador de Cluster:** Se encarga de interactuar entre los miembros del cluster, realizar protocolos de subscripción, consenso, enviar actualizaciones de estatus a los miembros.
- **Administrador de Modulo:** Se encarga de iniciar, detener, guarda y transferir el estado de las Áreas y Actividades, a fin de habilitar la movilidad de código.
- **Administrador de carga:** Detecta cuando un miembro del cluster se encuentra en los límites de su capacidad de cómputo y ordena al administrador de módulos, enviar Áreas

o actividades a otros equipos, así como la creación de réplicas.

6.3. Protocolos de Despliegue

A partir de los conectomas y su emparejamiento con las Áreas, se puede generar un grafo dirigido de conectividad ponderado por los requerimientos de cada módulo, denominado como el grafo de despliegue, como fue explicado en el capítulo anterior.

6.3.1. Proceso de Validación

Durante el proceso de validación se listan todos los enlaces del grafo de despliegue, de tal forma que cada conexión A a B tiene que existir en los conectomas del framework. En caso de que las conexiones no sean validas, será enviada una alerta sobre la validez biológica del modelo, y el sistema seguirá su ejecución normal.

6.3.2. Proceso de Balanceo

Al iniciar el framework, el equipo desde el cual se corre el comando funge como coordinador para el cluster.

1. El Servicio de equipo 1, que en este caso se encargara de la coordinación del despliegue, manda una solicitud de estado a los miembros del grupo multicast y espera las respuestas.
2. Los miembros del cluster mandan la información de poder de cómputo disponible al coordinador.
3. El coordinador distribuye los miembros del grafo de despliegue a los miembros del Cluster, mandando *listas de Áreas*, posteriormente se queda a la espera
4. Cada miembro del Cluster inicializa los nodos que le fueron enviados en la *lista de Áreas*, y manda a un mensaje de actualización de estado al coordinador. ‘
5. Cuando todos los elementos que recibieron listas contestan con una actualización de estado, el coordinador da la orden de empezar la ejecución del modelo cognitivo.

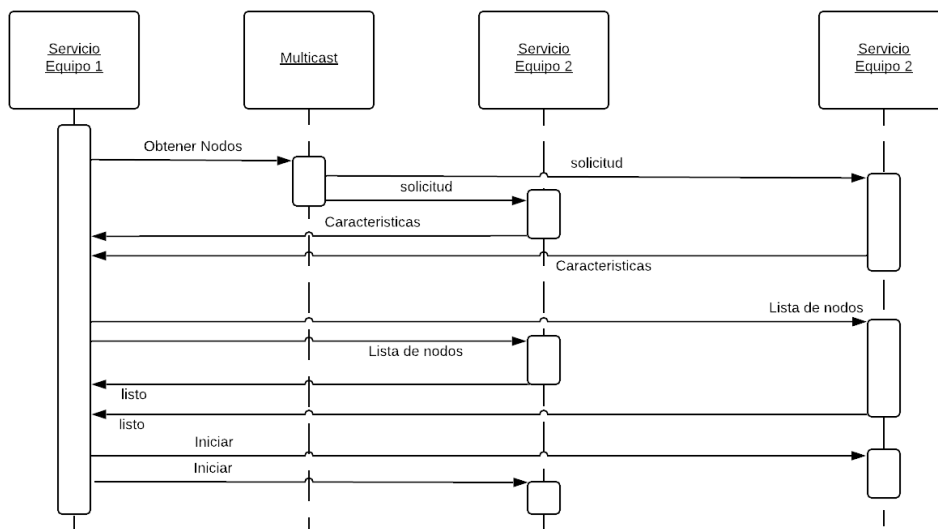


Figura 6.3: Balanceo de cargas.

6.3.3. Proceso de Creación de Área

En este punto la distribución de las cargas ha terminado, los servicios reciben sus listas de nodos y estas las mandan a las entidades pertinentes, por cada Área que una entidad levanta se sigue el siguiente procedimiento (Figura 6.4).

- Crear una nueva instancia del Área con los parámetros iniciales, adjuntos en la *lista de Áreas*
- El área nueva levanta puertos de escucha punto a punto, y manda un mensaje multicast que incluye estas direcciones.
- Todas las entidades reciben esta notificación de nueva área
- El área envía un mensaje de confirmación a su entidad encargada con el objetivo de saber que ya se encuentra disponible.

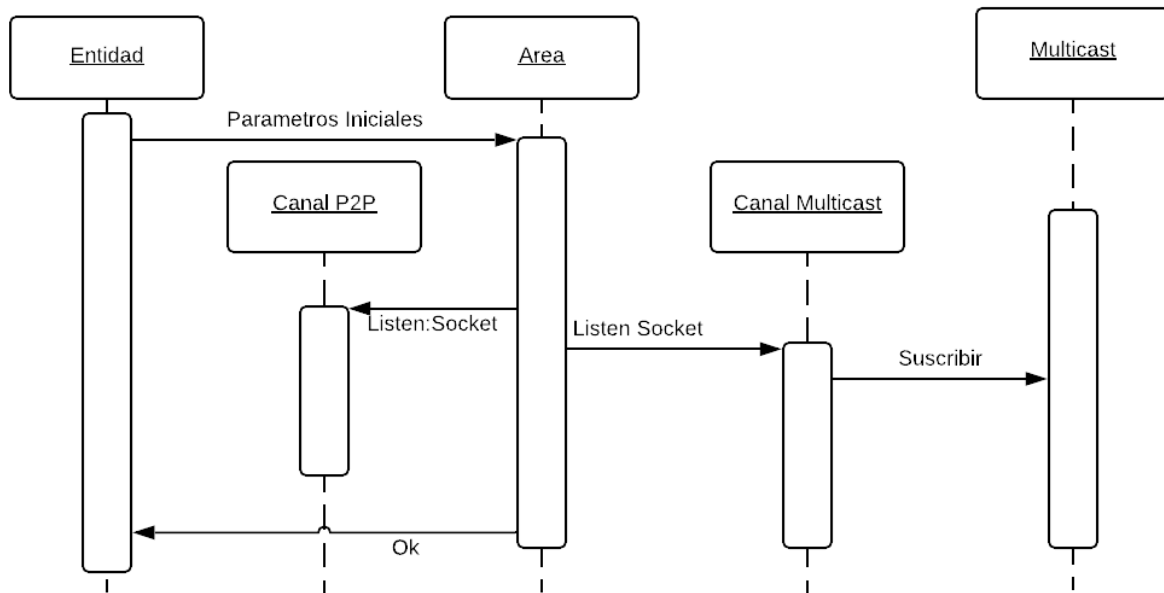


Figura 6.4: Protocolo de creación de área.

6.3.4. Proceso de creación de Actividad

- El Área informa al servicio que necesita una nueva instancia de una Actividad.
- El servicio se encarga de levantar una Actividad ya sea interactuando con el Sistema Operativo o con una instancia de la Java Virtual Machine.
- La nueva Actividad manda sus dirección P2P a su área creadora a través de un mensaje *ActivitySingIn*.
- El Área envía cargas de trabajo a la Actividad recién creada.
- La Carga de trabajo es ejecutada en la Actividad

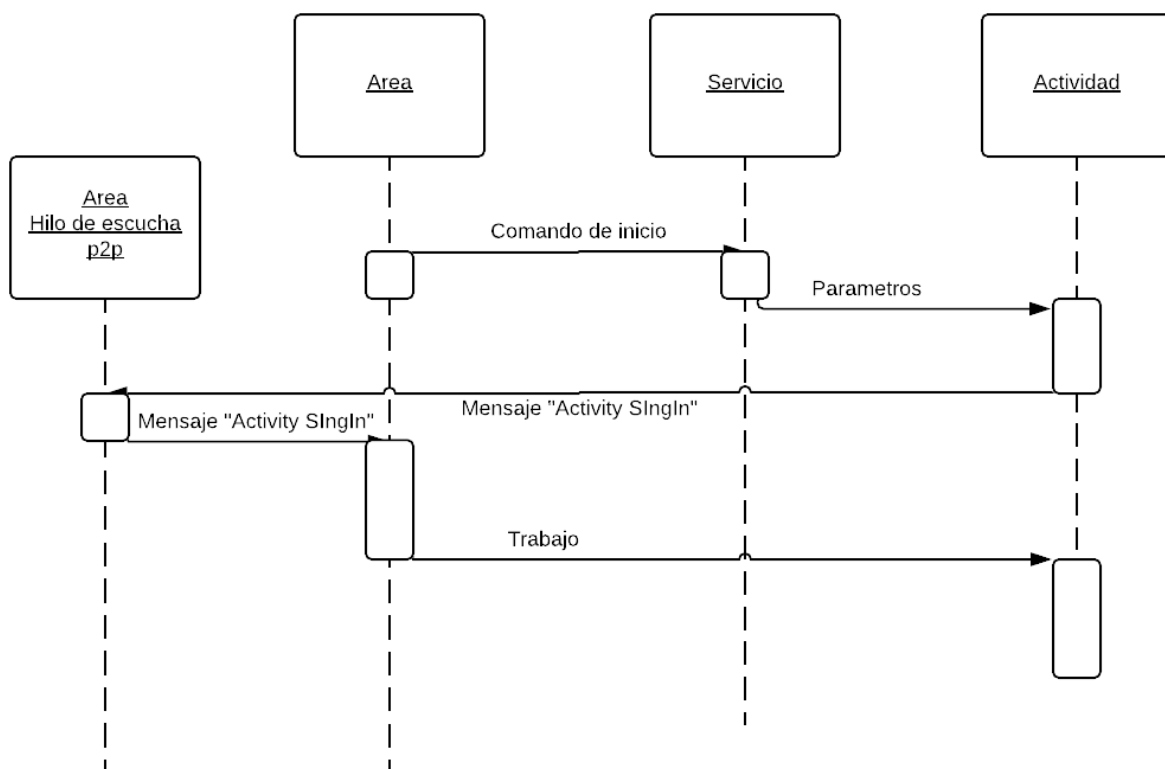


Figura 6.5: Protocolo de creación de Actividad.

6.4. Protocolos de enrutamiento

El framework cuenta con tablas de enrutamiento en cada una de las instancias de entidad. Estas contienen los diferentes direcciones p2p en las que un nodo puede ser encontrado. Cada vez que un nodo en el framework envía un mensaje se sigue el siguiente procedimiento:

- El sistema busca en la tabla de enrutamiento de la entidad.
- Esta tabla contiene una o varias direcciones IP además de referencias de objetos en caso de que estén en el mismo equipo.
- El área procede a utilizar la comunicación P2P más adecuada para enviar el mensaje al nodo de destino.

6.4.1. Protocolo de búsqueda de nodo

En caso de que la dirección de destino no se encuentre disponible en la tabla de ruteo de la entidad. Esta activará el protocolo de búsqueda de nodos.

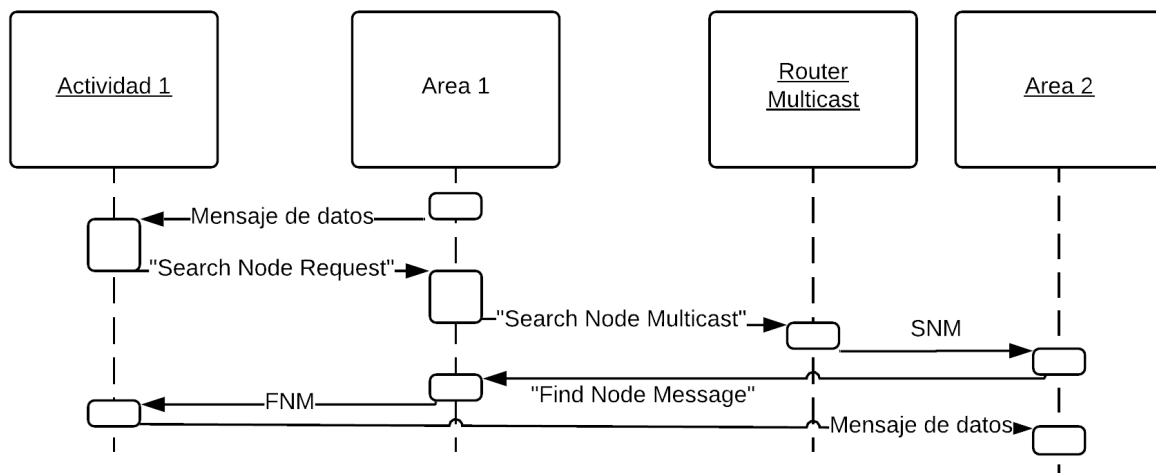


Figura 6.6: diagrama de componentes del framework cuayollotl.

- La entidad manda un mensaje multicast a los miembros de su cluster. Este mensaje contiene el nombre del nodo de destino y la dirección de la capa entidad que lo busca.

- El mensaje llega a las demás entidades, cuando una entidad contiene este nodo en sus tablas de direccionamiento procede a transmitirlo a través de p2p.
- En este punto el mensaje, la cola de mensajes encolados para este nodo es enviada.

6.5. Protocolos de monitoreo de y asignación de recursos

La capa de servicios lleva un registro del uso promedio del procesador y la RAM disponible en el sistema. Además del consumo de memoria de cada Nodo. Los nodos son constantemente etiquetados con el promedio de sus consumos, esto con el objetivo de poder realizar una mejor evaluación de las necesidades de cada nodo y obtener un proceso de despliegue más eficiente.

Adicionalmente esto permite que los cuando se realiza el protocolo de levantamiento de Actividad, es posible que el equipo en el cual se ejecuta esta área no cuente con los recursos necesarios para operar de manera eficiente. Por lo que el servicio manda una solicitud multicast de a todos los servicios del cluster, obteniendo las métricas de uso de recursos de estos elementos y decidiendo enviar la nueva actividad al que tiene más recursos libres.

6.6. Protocolo de contención y recuperación

Para poder simular el daño en regiones cerebrales, la capa de servicio a la que el usuario tiene acceso, puede dictar el envío de un mensaje de *Daño*, este mensaje indica al sistema que el Área indicada se encuentra dañada y que ahora es una "Amenaza" para el sistema por lo que tiene que ser contenida.

- El Servicio envía este mensaje por multicast a todas la Instancias de una Entidad.
- El área indicada pasa a un proceso de "Aislamiento", cuando un mensaje es enviado a esta Área, este no es procesado, en vez de ello, los destinatarios potenciales reciben mensajes "Basura".
- Los mensajes "Basura" sirven para que el sistema sepa que el la información proveniente del Área no es útil, sin embargo el flujo de datos continua.
- La recuperación se va realizando de manera paulatina por medio de la *estimulación* del Área, que depende del número de mensajes recibidos. Este valor está disponible como la variable *Health* cuyo valor (de 0 a 1) es establecido por una función que toma como entrada el número de mensajes recibidos después del *Daño*. Este valor de daño esta

disponible para que los encargados del modelo puedan ponderar sus transformaciones de información con base en este.

El cambio de los mensajes basura a mensajes ponderados por daño es determinado por el implementador del modelo. Cuando el valor de *Health* es 1, esto indica que el sistema ha recuperado sus funciones habituales.

Capítulo 7

Resultados

Durante el desarrollo de esta tesis, se realizaron varias iteraciones del framework. Cada una de estas iteraciones nos dio como resultado diferentes versiones que fueron incluyendo las funcionalidades descritas anteriormente a lo largo del presente documento. A continuación describimos dichas funcionalidades mediante casos de uso que se han desarrollado y se han presentado en diferentes disertaciones de algunos compañeros del grupo niclab.mx, así como en artículos que han sido publicados en revistas indizadas.

7.1. Caso de uso: Modelo motivacional del hambre

Para la implementación del modelo motivacional del hambre se utilizó la primera iteración del framework, el cual incluía las funcionalidades de distribución de recursos e integración automática. Este modelo simula la función homeostática del hambre, incluyendo la pérdida de energía y la selección de actividades basada en prioridades motivacionales, que en este experimento específico varía entre la ingestión de alimento, el descanso y la realización de actividades físicas [107].

En la figura 7.1, se observan los componentes del modelo motivación del hambre, el cual tiene 8 módulos:

- Estímulos Viscerales: Este componente simula la segregación de Leptina (para Saciedad) y Ghrelina (para hambre), con mediciones de intensidad de 0 a 100.
- ARC: Este componente recibe los la Leptina y Ghrelina, los modula y convierte a POMC y NPY respectivamente.
- SCN: Información relacionada con los niveles de luz es recibido por los módulos de visión.

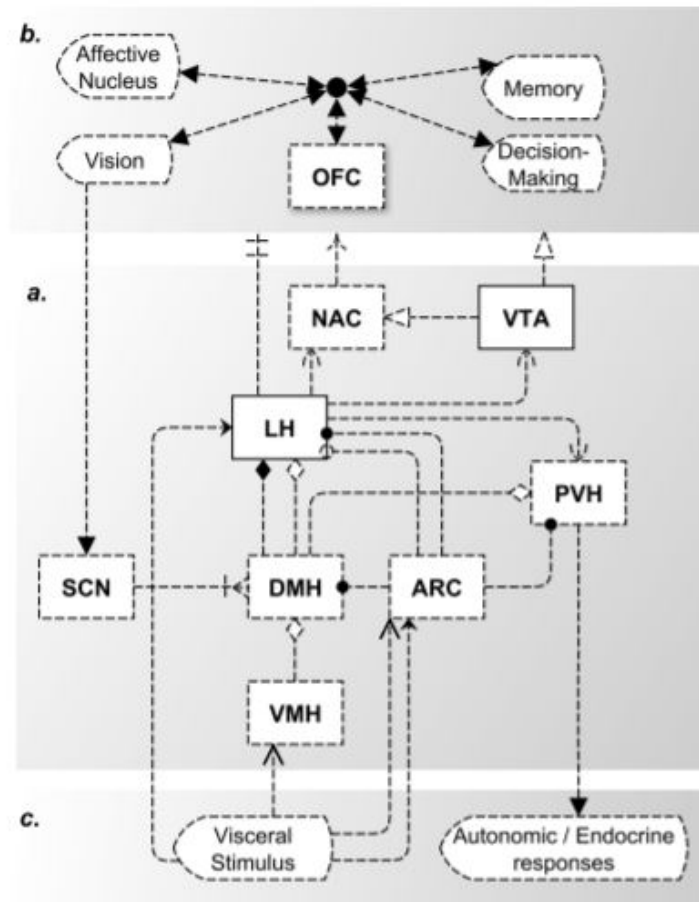


Figura 7.1

- VMH: Este componente evalúa la intensidad de la Leptina, si supera cierto umbral, un paquete de PMOC2 es enviado a DMH.
- DMH: Recibe Luz, NPY y POMC2. Si la luz es intensa PMOC2 son enviados PVH y NPY es enviados a LH. Si no hay suficiente luz el PMOC2 es disminuido y enviado a LH y PVH.
- LH: Recibe Ghrelina, NPY, POMC y se procede a evaluarlos. Si el valor dominante es PNY2 se generan paquetes ORX. Cuando la Ghrelina es el valor dominante se generan paquetes de Hunge-level, el cual es enviado a funciones cognitivas de orden superior.
- VTA: Este genera paquetes DOPM basados en los valores ORX, los cuales son enviados a NAC y funciones cognitivas de orden superior.

- NAC: Cuando ORX y DOPM son recibidos, estos son evaluados para enviar mensajes de acción, los cuales indican el "Comer" o "No Comer" y son enviados a funciones cognitivas de orden superior.

Para este experimentos también se creó un ambiente virtual y una conexión con este, el objetivo de este es contar con una visualización en tiempo real del estado del sistema. Este ambiente virtual está programado para que la entidad realice las actividades designadas por los mensajes de acción.

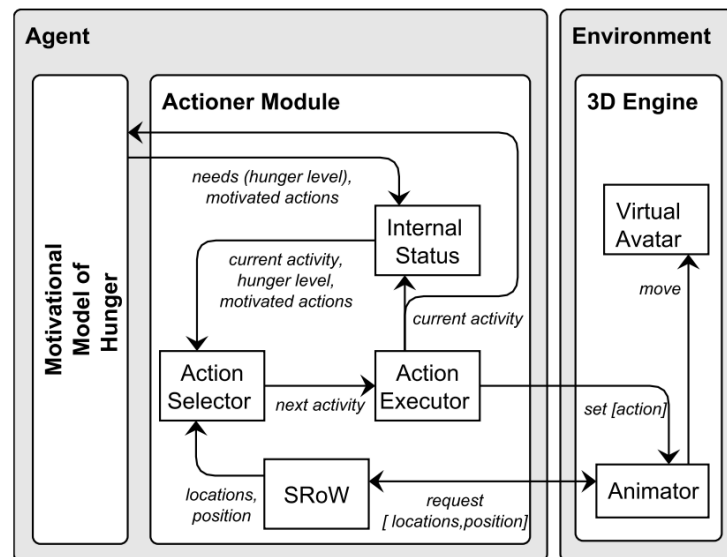


Figura 7.2: Diagrama de las conexiones entre el framework y el ambiente virtual.

Uno de los objetivos de este caso de estudio fue probar la carga del sistema. Es decir probar que el framework puede soportar aplicaciones en tiempo real. El caso fue exitoso porque no se pierde la continuidad de los comportamientos calculados. Sin embargo, los resultados bajo los criterios expuestos en nuestro planteamiento del problema son los siguientes:

1. En este punto los diagramas de actividad de los núcleos aún no habían sido desarrollados, por lo que la abstracción de los modelos se tomó en base a los diagramas de núcleo.
2. No existía la propuesta de validación por medio de conectomas, por lo tanto la veracidad de las conexiones no podía ser verificada.
3. Se realizaron pruebas de conectividad en múltiples equipos con resultados en tiempo real satisfactorios, Sin embargo el despliegue final del sistema se realizó en un único

equipo, debido a que la necesidad de procesamiento de este modelo no era muy alta. El requerimiento de tiempo real se cumplió bajo estas condiciones.

4. La sincronización de en este punto aseguraba el orden temporal de los mensajes de información, pero no se contaba con la capacidad de integrar automáticamente los paquetes de diferentes orígenes con la misma temporalidad.
5. Como puede visualizarse en la Figura 7.1, ya se hace uso de cajas negras. Tal es el caso de sistemas de los cuales se obtiene o se entrega una sola señal de salida o de entrada por ejemplo la memoria.

7.2. Caso de uso: Sistema de recompensa

El sistema de emociones y el sistema de motivación típicamente son estudiados por separado debido a que aparentemente tienen objetivos muy distintos. El sistema de motivación se asocia al saber porqué un organismo inicia y mantiene ciertas acciones de búsqueda de una meta, mientras el sistema de emociones se relaciona con el estado interno de una entidad. En este caso de estudio [108], se aborda la relación entre los sistemas de emociones y motivación para iniciar, mantener e incentivar el mantener objetivos. Lo más trascendente en este caso de estudio fue mostrar la integración entre dos funciones cognitivas que fueron desarrolladas de manera independiente.

Este modelo cuenta con 9 núcleos y 7 cajas negras, las cuales proveen las entradas del sistema y representan las interacciones con otras funciones cognitivas. En este caso se utilizó el diagrama mostrado en la figura 7.4, para proveer los nombres de las Áreas, mientras que las Actividades son cada una de las funciones que se realizan en esas Áreas. Los puntos más relevantes de este caso de estudio fueron:

- Integración: Durante la implementación de este caso de estudio se pudo reutilizar los modelos que existían para el modelado del hambre. El resultado de estos modelos funcionan como uno de los parámetros de entrada para el sistema de recompensa.
- Distribución: El desarrollo se realizó en paralelo, con los repositorios de código de motivación y de emociones siendo independientes. Al momento de realizar la ejecución del sistema, los módulos pudieron encontrarse dentro de la red local para interactuar según lo que establece la evidencia neurocientífica.
- Heterogeneidad: Estos repositorios fueron probados en diferentes sistemas con diferentes sistemas operativos y características de hardware, resultado en una interoperabilidad exitosa.

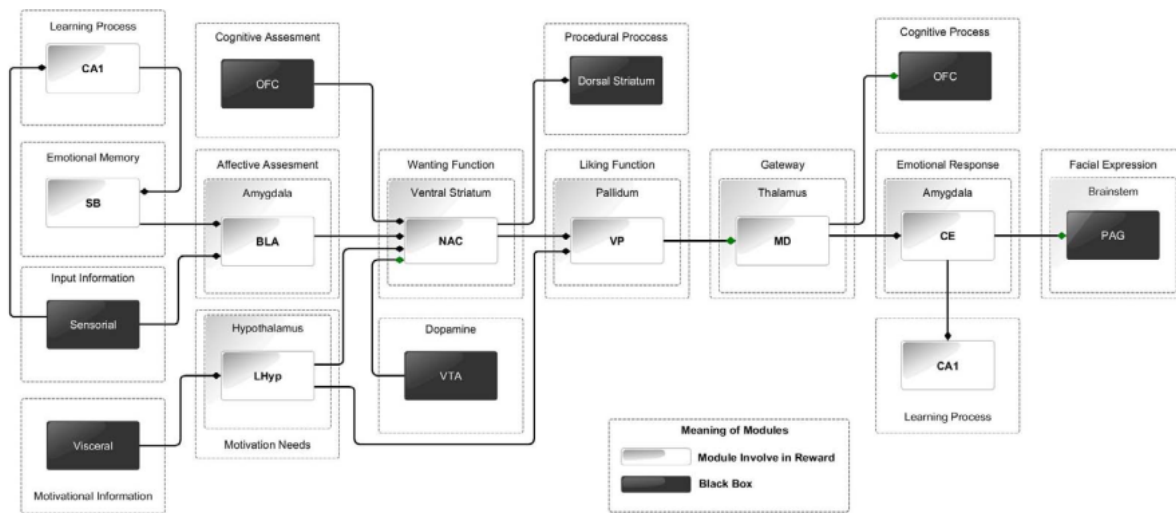


Figura 7.3: Es este modelo se puede observar las Áreas y actividades que conforman el sistema de recompensa, funciones cognitivas que relacionadas fueren agregadas como cajas negras. Se puede observar que la declaración de un área, una actividad y una agrupación son algo flexibles bajo este representación.

- Paralelismo: Una Actividad puede ser marcada como paralelizable, si esta no guarda estados, esto quiere decir que un mensaje de datos dará los mismos resultados independientemente de los mensajes anteriores.
- Mensajes estandarizados: Uno de los problemas que se deben contemplar al integrar diferentes funciones cognitivas es la diversidad de los mensajes. Para esta implementación se utilizó un mensaje estándar denominado "*Spike*", el cual contaba con dos parámetros, *Modalidad* lo que determina el tipo de información a ser enviada e *Intensidad* la cual determina el valor del estímulo. Los valores de modularidad fueron acordados por los miembros involucrados en el desarrollo.

7.3. Caso de uso: Sistema Visual

Los algoritmos de visión por computadora se especializan en resolver problemas específicos, como reconocimiento facial y líneas de producción. Siguiendo el objetivo final de nuestro grupo de investigación: El estudio de la Inteligencia Artificial General, se realizó un modelado del sistema visual humano, abarcando las primeras etapas del procesamiento visual.

Este modelo depende fuertemente en transformaciones matriciales para la codificación y

transformación de información visual de bajo nivel. Para facilitar este procesamiento se utilizó OpenCV, además de librerías de manipulación de vectores, las cuales se incorporaron sin problema a los modelos, además el framework fue capaz de brindar apoyo para la asignación de recursos a estas librerías. Los puntos más relevantes de este caso de uso son:

- Diagramas de Actividad: Se utilizaron los diagramas de actividad como paso intermedio entre el modelo y la implementación, facilitando un emparejamiento entre las núcleos cerebrales y sus tareas dentro del modelo con las Áreas y las diversas Actividades que deberán ser desarrolladas en cada una de ellas.
- Validación de conexiones: Una vez finalizada la implementación de los módulos y actividades, es posible añadir archivos de configuración, que asignan las Áreas a los miembros del atlas cerebral asignado, el framework incorpora por defecto la información del atlas talairach. Con eso es posible asegurar la validez neurocientífica del modelo, con base en los conectomas que se pueden deducir del atlas cerebral Talairach.
- Distribución automática: Utilizando las funciones de distribución automática, los cálculos de transformaciones matriciales se pudieron realizar en diversos equipos al mismo tiempo, evitando así cuellos de botella en las operaciones más pesadas del sistema.
- Compatibilidad: Se pudo utilizar el framework junto con librerías de terceros sin que surgieran conflictos de integración.
- Rehabilitación: Enviando mensajes de fallo al sistema, se logró simular daño en LGN, afectando las entradas del sistema y ponderando la calidad de la matriz de ingreso. Eso provocó un estado de "Ceguera temporal", en la cual la calidad de los estímulos iniciales fue recuperándose conforme LGN era estimulado, pudiendo recuperar la funcionalidad original del sistema.

7.4. Conclusiones

Al inicio nos planteamos un problema y sus hipótesis para resolver el problema de la ausencia de un marco de trabajo bio-inspirado para el desarrollo y prueba de arquitecturas cognitivas bio-inspiradas. En esta sección presentamos nuestras conclusiones en base al trabajo realizado y las pruebas que se realizaron mediante el desarrollo de diferentes casos de estudio, algunos de ellos presentados en este documento.

Con respecto al objetivo general podemos decir que nuestro trabajo contribuye a resolver problema planteado de acuerdo a la evidencia biológica encontrada y presentada en este documento. Sin embargo es claro que este es solo una parte del trabajo que debe ser resuelto

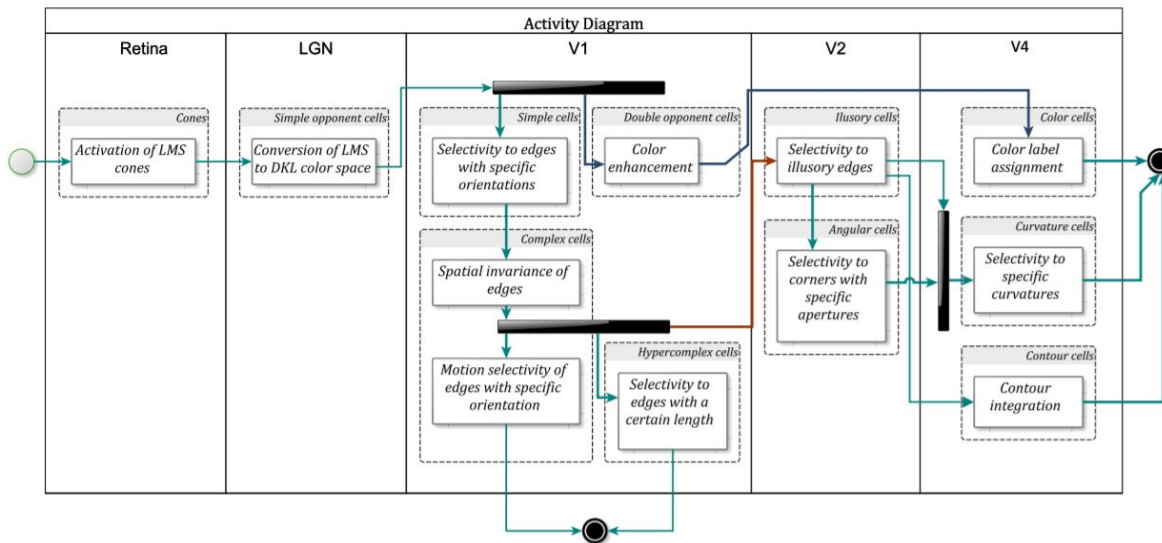


Figura 7.4: Para la implementación de este modelo. Se utilizaron diagramas de actividad, en estos diagramas se visualizan las Áreas en segmentos horizontales, mientras que las actividades visualizan como bloques dentro de estos segmentos, incluso es posible visualizar las diferentes tareas que las actividades deben de realizar. La conectividad se representa como flechas entre los bloques y la sincronización de la información es representada por la convergencia y divergencia de las flechas.

en la siguiente sección discutiremos los trabajos que de acuerdo a nuestro criterio quedan abiertos para futuras investigaciones.

Ahora bien con respecto al objetivo general podemos decir que la hipótesis que nos planteamos de que existe evidencia biológica suficiente para proponer una solución al problema de comunicación, coordinación y sincronización entre funciones cognitivas. El modelo propuesto así como su implantación se basaron en esta evidencia y está fue probada mediante diferentes casos de estudio, tres de los más representativos fueron presentados en este documento. Ahora bien con respecto a los objetivos específicos podemos a continuación hacemos un resumen por medio de una tabla donde presentamos el objetivo específico planteado, el resultado que se obtuvo además de una conclusión de su logro o su estatus al termino de esta investigación.

Objetivos específicos	Resultado	Conclusión
Identificar los componentes del cerebro humano que se encargan de la comunicación entre funciones cognitivas, más específicamente de la coordinación y sincronización de dichas funciones cognitivas.	Se identificaron los diferentes conjuntos de células gliales y neurotransmisores responsables por los mecanismos de sincronización y coordinación.	El objetivo se alcanzó satisfactoriamente.
Identificar los mecanismos de soporte para el procesamiento de información en el cerebro humano	Se estudió ampliamente los mecanismos de estimulación de células gliales "Macrogliá", responsables de la distribución de oxígeno y nutrientes al cerebro, así como las "Microglias", responsable por la contención de daños y la posterior recuperación de funciones.	El objetivo se alcanzó satisfactoriamente.
Proponer métodos para validar la veracidad biológica de las conexiones entre las diferentes componentes de una función cognitiva.	Se propuso la utilización del atlas talairach para determinar la ubicación de los núcleos y el uso de conectomas intercambiables y expansibles para indicar cuáles son las conexiones válidas de cada miembro del atlas, al ser un atlas jerárquico, estas conexiones pueden funcionar a múltiples niveles.	El objetivo se alcanzó satisfactoriamente.
Proponer modelos de coordinación y sincronización entre módulos de funciones cognitivas.	Se crearon modelos basados en los neurotransmisores, microglias, macroglias y oligodendroglia, cada uno simulando las funciones de sincronización, seguridad, alimentación y soporte respectivamente.	El objetivo se alcanzó satisfactoriamente.

Objetivo	Resultado	Conclusión
Integrar estos modelos de comunicación en un framework para generar ACBI.	Los modelos previamente propuestos fueron añadidos al framework [96], expandiendo sus capacidades.	El objetivo se alcanzo satisfactoriamente.
Probar los resultados del framework a través de algunos casos de estudio.	Como se mostro en este capitulo, el framework fue probado de manera satisfactoria con varios casos de uso, en sus diferentes iteraciones de desarrollo.	Aunque las pruebas empíricas de uso mostraron buenos resultados, hicieron falta pruebas de estrés y demás mediciones cuantitativas del software.

7.5. Trabajo Futuro

- Ajustar umbral de tolerancia del mecanismo de integración paquetes, expresado como el *delta* del modelo de sincronización, esto debido a que, como se señalo, este valor puede afectar el comportamiento visible de la entidad y con los resultados actuales, aun falta evidencia para caracterizar el punto optimo de este.
- Realizar pruebas cuantitativas de estrés, throughput sobre el rendimiento del software.
- Escribir un articulo sobre el modelo de contención y recuperación de daños en las cortezas del sistema nervioso periferico, con base en el modelo de microglías.

Bibliografía

- [1] Ezequiel Di Paolo, Marieke Rohde, and Hanneke De Jaegher. Horizons for the enactive mind: Values, social interaction, and play. *Enaction: Towards a new paradigm for cognitive science*, 2010.
- [2] Pat Langley. Cognitive architectures and general intelligent systems. *AI magazine*, 27(2):33, 2006.
- [3] John E. Laird. *The Soar Cognitive Architecture*. The MIT Press, 2012.
- [4] John E Laird and Paul Rosenbloom. The evolution of the soar cognitive architecture. *Mind matters: A tribute to Allen Newell*, pages 1–50, 1996.
- [5] Allen Newell, Paul S Rosenbloom, and John E Laird. Symbolic architectures for cognition. Technical report, CARNEGIE-MELLON UNIV PITTSBURGH PA ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND PSYCHOLOGY . . . , 1989.
- [6] Maxime Guye, Fabrice Bartolomei, and Jean-Philippe Ranjeva. Imaging structural and functional connectivity: towards a unified definition of human brain organization? *Current opinion in neurology*, 21(4):393–403, 2008.
- [7] NA Taatgen and JR Anderson. Constraints in cognitive architectures. *Cambridge handbook of computational psychology*, pages 170–185, 2008.
- [8] Michael J Kahana. The cognitive correlates of human brain oscillations. *Journal of Neuroscience*, 26(6):1669–1672, 2006.
- [9] Dirk M Lorenz, Alice Jeng, and Michael W Deem. The emergence of modularity in biological systems. *Physics of life reviews*, 8(2):129–160, 2011.
- [10] Craig Boutilier. Sequential optimality and coordination in multiagent systems. In *IJCAI*, volume 99, pages 478–485, 1999.
- [11] K Kitajo, SM Doesburg, K Yamanaka, D Nozaki, LM Ward, and Y Yamamoto. Noise-induced large-scale phase synchronization of human-brain activity associated with behavioural stochastic resonance. *EPL (Europhysics Letters)*, 80(4):40009, 2007.

- [12] Gustavo Alejandro Torres Blanco. *Metodología para el desarrollo de arquitecturas cognitivas basada en neurociencias*. 2013.
- [13] John E Laird. Extending the soar cognitive architecture. *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, 171:224, 2008.
- [14] Pat Langley, John E Laird, and Seth Rogers. Cognitive architectures: Research issues and challenges. *Cognitive Systems Research*, 10(2):141–160, 2009.
- [15] David E. Kieras and David E. Meyer. An overview of the epic architecture for cognition and performance with application to human-computer interaction. *Hum.-Comput. Interact.*, 12:391–438, 1997.
- [16] Ron Sun. The importance of cognitive architectures: An analysis based on clarion. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 19(2):159–193, 2007.
- [17] Ron Sun. *Cognition and multi-agent interaction: From cognitive modeling to social simulation*. Cambridge University Press, 2006.
- [18] Wlodzislaw Duch, Richard Jayadi Oentaryo, and Michel Pasquier. Cognitive architectures: Where do we go from here? In *AGI*, volume 171, pages 122–136, 2008.
- [19] Stefan Profanter. Cognitive architectures. In *Hauptseminar Human Robot Interaction.[II] Marion G. Ceruti, Senior Member IEEE (2000). "The Relationship Between Artificial Intelligence and Data Mining: Application to Future Military Information Systems". Published in: Systems, Man and Cybernetics, 2000 IEEE international Conference*, volume 3, 2012.
- [20] David Vernon, Giorgio Metta, and Giulio Sandini. A survey of artificial cognitive systems: Implications for the autonomous development of mental capabilities in computational agents. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 11(2):151–180, 2007.
- [21] Jarryd Son and Amit Kumar Mishra. A survey of brain inspired technologies for engineering. In *Pattern Recognition Association of South Africa and Robotics and Mechatronics International Conference (PRASA-RobMech), 2016*, pages 1–6. IEEE, 2016.
- [22] John F Sowa. *Conceptual structures: information processing in mind and machine*. 1983.
- [23] David E Rumelhart, James L McClelland, PDP Research Group, et al. Parallel distributed processing: Explorations in the microstructures of cognition. volume 1: Foundations. *MIT Press, Cambridge, MA*, 2:560–567, 1986.

- [24] Ben Goertzel, Ruiting Lian, Itamar Arel, Hugo De Garis, and Shuo Chen. A world survey of artificial brain projects, part ii: Biologically inspired cognitive architectures. *Neurocomputing*, 74(1):30–49, 2010.
- [25] Ron Sun and Frederic Alexandre. *Connectionist-symbolic integration: From unified to hybrid approaches*. Psychology Press, 2013.
- [26] Iuliia Kotseruba, Oscar J Avella Gonzalez, and John K Tsotsos. A review of 40 years of cognitive architecture research: Focus on perception, attention, learning and applications. *arXiv preprint arXiv:1610.08602*, 2016.
- [27] John R Anderson, Michael Matessa, and Christian Lebiere. Act-r: A theory of higher level cognition and its relation to visual attention. *Human-Computer Interaction*, 12(4):439–462, 1997.
- [28] Max Talanov, Mariya Zagulova, Salvatore Distefano, Boris Pinus, Alexey Leukhin, and Jordi Vallverdú. The implementation of noradrenaline in the neucogar cognitive architecture. *COGNITIVE 2017*, page 18, 2017.
- [29] David Vernon, Giorgio Metta, and Giulio Sandini. The icub cognitive architecture: Interactive development in a humanoid robot. In *Development and Learning, 2007. ICDL 2007. IEEE 6th International Conference on*, pages 122–127. Ieee, 2007.
- [30] Giulio Sandini, Giorgio Metta, and David Vernon. The icub cognitive humanoid robot: An open-system research platform for enactive cognition. In *50 years of artificial intelligence*, pages 358–369. Springer, 2007.
- [31] Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, and John Vlissides. *Design patterns: elements of reusable object-oriented software*. Pearson Education, 1994.
- [32] Giorgio Metta, Paul Fitzpatrick, and Lorenzo Natale. Yarp: yet another robot platform. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 3(1):8, 2006.
- [33] Alexander Wendt and Thilo Sauter. Agent-based cognitive architecture framework implementation of complex systems within a multi-agent framework. In *2016 IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, pages 1–4. IEEE, 2016.
- [34] G Rimassa F Bellifemine, A Poggi. Jade – a fipa-compliant agent framework. *Proceedings of PAAM*, 1999.
- [35] Jeffrey S Steinman, Craig N Lammers, and Maria E Valinski. A proposed open cognitive architecture framework. In *Winter Simulation Conference*, pages 1345–1355. Winter Simulation Conference, 2009.

- [36] Douglas Pearson, Nicholas A Gorski, Richard L Lewis, and John E Laird. Storm: A framework for biologically-inspired cognitive architecture research. In *Proceedings of the 8th international conference on cognitive modeling*, 2007.
- [37] Javier Snaider, Ryan McCall, and Stan Franklin. The lida framework as a general tool for agi. *Artificial general intelligence*, pages 133–142, 2011.
- [38] Stan Franklin and F. G. Patterson Jr. The lida architecture adding new models of learning to an intelligent, autonomous software agent. *Integrated Design and Process Technology*, 703:764–1004, 2006.
- [39] Stan Franklin and FG Patterson Jr. The lida architecture: Adding new modes of learning to an intelligent, autonomous, software agent. *pat*, 703:764–1004, 2006.
- [40] Steven E Petersen and Olaf Sporns. Brain networks and cognitive architectures. *Neuron*, 88(1):207–219, 2015.
- [41] Steven L Bressler and Emmanuelle Tognoli. Operational principles of neurocognitive networks. *International Journal of Psychophysiology*, 60(2):139–148, 2006.
- [42] Patricia S Churchland and Terrence J Sejnowski. *The computational brain*. MIT press, 2016.
- [43] PS Churchland and TJ Sejnowski. Computational neuroscience. the computational brain, 1992.
- [44] Hae-Jeong Park and Karl Friston. Structural and functional brain networks: from connections to cognition. *Science*, 342(6158):1238411, 2013.
- [45] Vinod Menon. Developmental pathways to functional brain networks: emerging principles. *Trends in cognitive sciences*, 17(12):627–640, 2013.
- [46] Satu Palva and J Matias Palva. The role of local and large-scale neuronal synchronization in human cognition. In *Multimodal Oscillation-based Connectivity Theory*, pages 51–67. Springer, 2016.
- [47] Peter König, Andreas K Engel, and Wolf Singer. Integrator or coincidence detector? the role of the cortical neuron revisited. *Trends in neurosciences*, 19(4):130–137, 1996.
- [48] Simon Neubauer. *Human Brain Evolution: Ontogeny and Phylogeny*, pages 95–120. Springer International Publishing, Cham, 2015.
- [49] David C Van Essen. Windows on the brain: the emerging role of atlases and databases in neuroscience. *Current opinion in neurobiology*, 12(5):574–579, 2002.

- [50] Eric R Kandel, James H Schwartz, Thomas M Jessell, Steven A Siegelbaum, A James Hudspeth, et al. *Principles of neural science*, volume 4. McGraw-hill New York, 2000.
- [51] Korbinian Brodmann. *Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues*. Barth, 1909.
- [52] Michael Strotzer. One century of brain mapping using brodmann areas. *Clinical Neuroradiology*, 19(3):179–186, 2009.
- [53] Rahul S Desikan, Florent Ségonne, Bruce Fischl, Brian T Quinn, Bradford C Dickerson, Deborah Blacker, Randy L Buckner, Anders M Dale, R Paul Maguire, Bradley T Hyman, et al. An automated labeling system for subdividing the human cerebral cortex on mri scans into gyral based regions of interest. *Neuroimage*, 31(3):968–980, 2006.
- [54] Theo GM Van Erp, Esther Walton, Derrek P Hibar, Lianne Schmaal, Wenhao Jiang, David C Glahn, Godfrey D Pearlson, Nailin Yao, Masaki Fukunaga, Ryota Hashimoto, et al. Cortical brain abnormalities in 4474 individuals with schizophrenia and 5098 control subjects via the enhancing neuro imaging genetics through meta analysis (enigma) consortium. *Biological psychiatry*, 84(9):644–654, 2018.
- [55] Jack L Lancaster, LH Rainey, JL Summerlin, CS Freitas, Peter T Fox, AC Evans, AW Toga, and JC Mazziotta. Automated labeling of the human brain: A preliminary report on the development and evaluation of a forward-transform method. *Human brain mapping*, 5(4):238–242, 1997.
- [56] Jack L Lancaster, Marty G Woldorff, Lawrence M Parsons, Mario Liotti, Catarina S Freitas, Lacy Rainey, Peter V Kochunov, Dan Nickerson, Shawn A Mikiten, and Peter T Fox. Automated talairach atlas labels for functional brain mapping. *Human brain mapping*, 10(3):120–131, 2000.
- [57] Christophe Destrieux, Bruce Fischl, Anders Dale, and Eric Halgren. Automatic parcellation of human cortical gyri and sulci using standard anatomical nomenclature. *Neuroimage*, 53(1):1–15, 2010.
- [58] Bruce Fischl, André Van Der Kouwe, Christophe Destrieux, Eric Halgren, Florent Ségonne, David H Salat, Evelina Busa, Larry J Seidman, Jill Goldstein, David Kennedy, et al. Automatically parcellating the human cerebral cortex. *Cerebral cortex*, 14(1):11–22, 2004.
- [59] Bruce Fischl, David H Salat, Evelina Busa, Marilyn Albert, Megan Dieterich, Christian Haselgrove, Andre Van Der Kouwe, Ron Killiany, David Kennedy, Shuna Klaveness, et al. Whole brain segmentation: automated labeling of neuroanatomical structures in the human brain. *Neuron*, 33(3):341–355, 2002.

- [60] R Douglas Fields. White matter matters. *Scientific American*, 298(3):54–61, 2008.
- [61] Daniel K Hartline. What is myelin? *Neuron glia biology*, 4(2):153–163, 2008.
- [62] Olaf Sporns. The human connectome: a complex network. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1224(1):109–125, 2011.
- [63] R Douglas Fields. A new mechanism of nervous system plasticity: activity-dependent myelination. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(12):756, 2015.
- [64] Sinisa Pajevic, Peter J Basser, and R Douglas Fields. Role of myelin plasticity in oscillations and synchrony of neuronal activity. *Neuroscience*, 276:135–147, 2014.
- [65] Ragnhildur Káradóttir and David Attwell. Neurotransmitter receptors in the life and death of oligodendrocytes. *Neuroscience*, 145(4):1426–1438, 2007.
- [66] Harbaljit Sohal, Andrew Jackson, Richard Jackson, Gavin Clowry, Konstantin Vassilevski, Anthony O’Neill, and Stuart Baker. Frontiers in neuroengineering. *Frontiers in Neuroengineering*, 7:10, 04 2014.
- [67] BA Barres, MD Jacobson, R Schmid, M Sendtner, and MC Raff. Does oligodendrocyte survival depend on axons? *Current Biology*, 3(8):489–497, 1993.
- [68] Michael V Sofroniew and Harry V Vinters. Astrocytes: biology and pathology. *Acta neuropathologica*, 119(1):7–35, 2010.
- [69] Michael D Fox and Marcus E Raichle. Spontaneous fluctuations in brain activity observed with functional magnetic resonance imaging. *Nature reviews neuroscience*, 8(9):700, 2007.
- [70] Michael M Halassa, Tommaso Fellin, and Philip G Haydon. The tripartite synapse: roles for gliotransmission in health and disease. *Trends in molecular medicine*, 13(2):54–63, 2007.
- [71] Shane A Liddelow and Michael V Sofroniew. Astrocytes usurp neurons as a disease focus. *Nature neuroscience*, 22(4):512–513, 2019.
- [72] ST Kitai, M Sugimori, and JD Kocsis. Excitatory nature of dopamine in the nigro-caudate pathway. *Experimental Brain Research*, 24(4):351–363, 1976.
- [73] LJ Lawson, VH Perry, P Dri, and S Gordon. Heterogeneity in the distribution and morphology of microglia in the normal adult mouse brain. *Neuroscience*, 39(1):151–170, 1990.

- [74] Julie K Olson and Stephen D Miller. Microglia initiate central nervous system innate and adaptive immune responses through multiple tlrs. *The Journal of Immunology*, 173(6):3916–3924, 2004.
- [75] Stella Elkabes, Emanuel M DiCicco-Bloom, and Ira B Black. Brain microglia/macrophages express neurotrophins that selectively regulate microglial proliferation and function. *Journal of Neuroscience*, 16(8):2508–2521, 1996.
- [76] Jochen Gehrmann, Yoh Matsumoto, and Georg W Kreutzberg. Microglia: intrinsic immune effector cell of the brain. *Brain Research Reviews*, 20(3):269–287, 1995.
- [77] Pío del Río Hortega. Microglia. *Cytology and cellular pathology of the nervous system*, 2:481–531, 1932.
- [78] V Hugh Perry and Siamon Gordon. Macrophages and microglia in the nervous system. *Trends in neurosciences*, 11(6):273–277, 1988.
- [79] Francesca Aloisi. Immune function of microglia. *Glia*, 36(2):165–179, 2001.
- [80] N Joan Abbott, Adjanie AK Patabendige, Diana EM Dolman, Siti R Yusof, and David J Begley. Structure and function of the blood–brain barrier. *Neurobiology of disease*, 37(1):13–25, 2010.
- [81] Georg W Kreutzberg. Microglia: a sensor for pathological events in the cns. *Trends in neurosciences*, 19(8):312–318, 1996.
- [82] Luc Fessler and Sebastian Amigorena. Brain under surveillance: the microglia patrol. *Science*, 309(5733):392–393, 2005.
- [83] Knut Biber, Harald Neumann, Kazuhide Inoue, and Hendrikus WGM Boddeke. Neuronal ‘on’ and ‘off’ signals control microglia. *Trends in neurosciences*, 30(11):596–602, 2007.
- [84] Jennifer M Pocock and Helmut Kettenmann. Neurotransmitter receptors on microglia. *Trends in neurosciences*, 30(10):527–535, 2007.
- [85] Ulrike Pannasch, Katrin Färber, Christiane Nolte, Mary Blonski, Shing Yan Chiu, Albee Messing, and Helmut Kettenmann. The potassium channels kv1. 5 and kv1. 3 modulate distinct functions of microglia. *Molecular and Cellular Neuroscience*, 33(4):401–411, 2006.
- [86] Uwe-Karsten Hanisch and Helmut Kettenmann. Microglia: active sensor and versatile effector cells in the normal and pathologic brain. *Nature neuroscience*, 10(11):1387, 2007.

- [87] Guido Stollg and Sebastian Jander. The role of microglia and macrophages in the pathophysiology of the cns. *Progress in neurobiology*, 58(3):233–247, 1999.
- [88] CC Chao, SHUXIAN Hu, TW Molitor, EG Shaskan, and PK Peterson. Activated microglia mediate neuronal cell injury via a nitric oxide mechanism. *The Journal of Immunology*, 149(8):2736–2741, 1992.
- [89] Dennis W Dickson, Sunhee C Lee, Linda A Mattiace, Shu-Hui C Yen, and Celia Brosnan. Microglia and cytokines in neurological disease, with special reference to aids and alzheimer’s disease. *Glia*, 7(1):75–83, 1993.
- [90] Michelle L Block and Jau-Shyong Hong. Microglia and inflammation-mediated neurodegeneration: multiple triggers with a common mechanism. *Progress in neurobiology*, 76(2):77–98, 2005.
- [91] Ian Galea, Ingo Bechmann, and V Hugh Perry. What is immune privilege (not)? *Trends in immunology*, 28(1):12–18, 2007.
- [92] Dan Lindholm, Rolf Heumann, Michael Meyer, and Hans Thoenen. Interleukin-1 regulates synthesis of nerve growth factor in non-neuronal cells of rat sciatic nerve. *Nature*, 330(6149):658–659, 1987.
- [93] Helmut Kettenmann, Uwe-Karsten Hanisch, Mami Noda, and Alexei Verkhratsky. Physiology of microglia. *Physiological reviews*, 91(2):461–553, 2011.
- [94] CT Ekdahl, Zaal Kokaia, and Olle Lindvall. Brain inflammation and adult neurogenesis: the dual role of microglia. *Neuroscience*, 158(3):1021–1029, 2009.
- [95] Lisa Schnell and Martin E Schwab. Axonal regeneration in the rat spinal cord produced by an antibody against myelin-associated neurite growth inhibitors. *Nature*, 343(6255):269–272, 1990.
- [96] Karina Jaime, Armando Cervantes, Ory Medina, Felix Ramos, Jonathan-Hernando Rosales, Gustavo Torres, and Marco Ramos. A middleware for integrating cognitive architectures. In *International conference on brain informatics and health*, pages 435–444. Springer, 2015.
- [97] Wayne Beaton and J d Rivieres. Eclipse platform technical overview. *Retrieved on November, 2:2009*, 2006.
- [98] Myrna S. Zamarripa, Daniel Madrigal, Cynthia Avila-Contreras, and Felix Ramos. A motivational model of hunger for a cognitive architecture. 2015.

- [99] Ana Karina Jaime Oliver. *Modelo de memoria declarativa para criaturas virtuales basado en neurociencias*. PhD thesis, Centro de Investigacion y Estudios Avanzados del Intituto Politecnico Nacional, 2015.
- [100] Gustavo Torres, Karina Jaime, and Felix Ramos. Brain architecture for visual object identification. *International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence (IJCINI)*, 7(1):75–97, 2013.
- [101] Jonathan-Hernando Rosales, Karina Jaime, Félix Ramos, and Marco Ramos. An emotional regulation model with memories for virtual agents. In *IEEE 12th International Conference on Cognitive Informatics and Cognitive Computing (ICCI*CC)*, pages 260–267, July 2013.
- [102] Arno Puder, Kay Romer, and Frank Pilhofer. *Distributed Systems Architecture A Middleware Approach*, chapter Introduction, pages 1–6. Elsevier Morgan Kaufmann Publishers, 2006.
- [103] Martijn P van den Heuvel and Olaf Sporns. Network hubs in the human brain. *Trends in cognitive sciences*, 17(12):683–696, 2013.
- [104] Jorge Sepulcre, Mert R Sabuncu, and Keith A Johnson. Network assemblies in the functional brain. *Current opinion in neurology*, 25(4):384, 2012.
- [105] John NJ Reynolds and Jeffery R Wickens. Dopamine-dependent plasticity of corticostriatal synapses. *Neural networks*, 15(4-6):507–521, 2002.
- [106] Paolo Calabresi, Barbara Picconi, Alessandro Tozzi, and Massimiliano Di Filippo. Dopamine-mediated regulation of corticostriatal synaptic plasticity. *Trends in neurosciences*, 30(5):211–219, 2007.
- [107] Myrna S Zamarripa, Daniel Madrigal, Cynthia Avila-Contreras, and Félix Ramos. A motivational model of hunger for a cognitive architecture. In *2015 6th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, pages 1–6. IEEE, 2015.
- [108] Jonathan-Hernando Rosales, Myrna S Zamarripa, Félix Ramos, and Marco Ramos. Automatic reward system for virtual creatures, emergent processes of emotions and physiological motivation. *Biologically inspired cognitive architectures*, 22:51–66, 2017.